

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"  
Приладобудівний факультет  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Володимир ЄРЕМЕНКО  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні системи**  
**та технології екологічного моніторингу»**  
**спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**  
**на тему: «Оптико-електронна вимірювальна система класу шорсткості**  
**поверхні оптичних об'єктів»**

Виконав :  
студент IV курсу, групи ПН-361  
Тимко Олександр Олександрович \_\_\_\_\_

Керівник:  
Доцент, к.т.н, доцент,  
Маркін Максим Олександрович \_\_\_\_\_

Рецензент:  
Асистент  
Сапегін Олександр Миколайович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-вимірювальні системи та технології екологічного моніторингу»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Володимир ЄРЕМЕНКО

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Тимко Олександр **по батькові**

1. **Тема проекту** «Оптико-електронна вимірювальна система класу шорсткості поверхні оптичних об'єктів», **керівник проекту** Маркін Максим Олександрович, к.т.н.  
затверджені наказом по Університету від "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2020 р. №\_\_\_.

2. **Термін подання студентом проекту** «18» травня 2020 р.

3. **Вихідні дані до проекту:**

- 3.1. Об'єкт проектування – інформаційно-вимірювальна система класу шорсткості поверхні.

- 3.2. Умови експлуатації:

- температура навколишнього середовища  $293\text{ K} \pm 5\text{ K}$  ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ );
- атмосферний тиск від 96 до 104 кПа ( від 720 до 780 мм.рт.ст. );
- відносна вологість повітря від 25 до 75 % при температурі повітря  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- в процесі градування не повинно бути вібрації, тряски та ударів;
- електроживлення – мережа змінного струму напругою від 180 до 240 В, частота  $50 \pm 5$  Гц;
- габаритні розміри вимірювальної системи – мінімальні.
- маса вимірювальної системи – мінімальна.

- Система не автономна, живиться від загальної мережі електричного живлення.

### 3.3. Характеристики приладу:

- вхідний сигнал – освітленість піксела;
- чутливість освітлення вимірювальної системи – 6 люкс;
- діапазон довжин хвиль – видимий спектр;
- діапазон вимірювання – коефіцієнт передачі контрасту від 0,15 до 1;
- похибка вимірювання  $\pm 1,5$  мкм;
- вихідний сигнал – цифровий сигнал від 0 до 255 у.о.АЦП

## 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 4.1. Виконати огляд об'єкту вимірювання – шорсткості поверхні.
- 4.2. Аналітичний огляд систем визначення класу шорсткості поверхні оптичних об'єктів.
  - 4.2.1. Виконати огляд методів визначення шорсткості поверхні.
  - 4.2.2. Виконати огляд оптичних, оптико-електронних приладів та систем визначення шорсткості поверхні.
  - 4.2.3. Виконати аналітичне дослідження шорсткості поверхні та класифікації класів шорсткості поверхні.
- 4.3. Конструкторський розділ.
  - 4.3.1. Розробити структурну схему системи вимірювання класу шорсткості поверхні прецизійних матеріалів.
  - 4.3.2. Обґрунтувати та обрати складові вузлів оптико-електронної вимірювальної системи.
    - 4.3.2.1. Камери з ПЗЗ матрицею.
    - 4.3.2.2. Оптична система або пристрій.
    - 4.3.2.3. Світлові фільтри.
    - 4.3.2.4. Джерело живлення.
    - 4.3.2.5. Джерело освітлення.
    - 4.3.2.6. Програма для захоплення відеозображення.
  - 4.3.3. Виконати вибір тестових об'єктів для проведення експериментальних досліджень. Свій вибір обґрунтувати.
  - 4.3.4. Розробити креслення деталей та вузлів оптико-електронної вимірювальної системи і виконати їх креслення.
- 4.4. Експериментальний розділ

4.3.1. Розробити методику визначення шорсткості поверхні за допомогою спроектованого лабораторного стенду (вимірювальної системи).

1.1.1. Дослідити характеристики спроектованого лабораторного стенду.

1.1.1.1. Світлосигнальні характеристики спроектованого лабораторного стенду.

1.1.2. Функції передачі модуляції спроектованого лабораторного стенду.

1.1.3. Функції розсіювання оптичної складової спроектованого лабораторного стенду.

1.1.4. Визначити обмеження вимірювання класу шорсткості оптико-електронною системою.

4.5. Висновки.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

5.1. Структурна схема приладу (1 аркуш формату А1);

5.2. Загальний вигляд приладу (1 аркуш формату. А1);

5.3. Креслення деталей та вузлів (2 аркуші формату А1).

**6. Дата видачі завдання "01" березня 2020 р.**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Виконати огляд методів визначення шорсткості поверхні	03.03.20	
2	Виконати огляд оптичних, оптико-електронних приладів та систем визначення шорсткості поверхні.	10.03.20	
3	Виконати дослідження класів шорсткості поверхні.	20.03.20	
4	Розробити структурну схему вимірювальної системи класу шорсткості поверхні.	10.04.20	
5	Обґрунтувати вибір складових вузлів системи. Пристрій з зарядовим зв'язком. Оптичний мікроскоп. Джерело живлення. Програмне забезпечення.	20.04.20	
6	Виконати вибір тест-об'єктів для проведення експериментальних досліджень. Вибір обґрунтувати.	03.05.20	
7	Розробити креслення деталей та вузлів спроектованого лабораторного стенду вимірювальної системи.	10.05.20	
8	Розробити методику визначення шорсткості поверхні за допомогою спроектованого лабораторного стенду.	05.05.20	
9	Виконати дослідження характеристик спроектованого лабораторного стенду	05.05.20	
10	Світлосигнальної характеристики спроектованого лабораторного стенду.	05.05.20	
11	Функції передачі модуляції спроектованого лабораторного стенду.	05.05.20	
12	Функції розсіювання оптичної складової спроектованого лабораторного стенду.	05.05.20	
13	Підготувати пояснювальну записку до дипломного проекту	20.05.20	

Студент \_\_\_\_\_

/Олександр ТИМКО/

Керівник проекту \_\_\_\_\_

/Максим МАРКІН/

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

РЕМ – растровий-електронний мікроскоп

СЕП – світло-електронний перетворювач

ПЧХ - просторово - частотна характеристика

ОЕВС – оптико-електронна вимірювальна система

ПЗЗ – перетворювач із зарядним зв'язком

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему «Оптико-електронна вимірювальна система класу шорсткості поверхні оптичних об'єктів» складається з пояснювальної записка обсягом 64 сторінки, 14 рисунків, 8 таблиць, 17 джерел літератури.

За технічним завданням до дипломного проекту було спроектувати оптико-електронну вимірювальну систему, щоб користувач міг автоматично з застосуванням програмного забезпечення та вимірювальної системи визначати клас шорсткості поверхні. У дипломі було проведено аналітичне дослідження методів визначення класу шорсткості. А саме, растровий метод, метод світлового та тіньового світіння, мікроінтерференційний метод та логарифмічний метод. Хочемо зазначити, що більшість методів визначення шорсткості об'єкту базується на методах оптичної мікроскопії. Тому для побудови вимірювальної системи визначення класу шорсткості поверхні ми обрали за основу оптичний метод. У роботі проведено аналітичний огляд приладів та систем аналогів для визначення шорсткості поверхні. А саме, ми розглянули пристрій для вимірювання оптичних прозорих об'єктів, пристрій для визначення шорсткості, станцію для контролю шорсткості і контуру поверхні Hommel Tester T8000 та вимірювач шорсткості поверхні MicroProf 200. Ми розглянули переваги та недоліки кожної з систем або приладів аналогів та визначились, що оберемо за основу для проектування власної вимірювальної системи.

Проектування власної системи ми розпочали з побудови структурної схеми вимірювальної системи та визначення складових вузлів. Було вибрано та обґрунтовано наступні вузли: камери з ПЗЗ матрицею, оптична система або пристрій, світлові фільтри, джерело живлення, джерело освітлення, програма для захоплення відеозображення. На основі цих вузлів спроектовано лабораторний стенд оптико-електронної вимірювальної системи класу шорсткості поверхні. Перед початком вимірювання, нами виконано експериментальні дослідження характеристик вимірювального стенду (оптико-електронної системи), а саме, дослідження світлосигнальної характеристики та спектральної характеристики.

У дипломному проекті проведено аналіз вимог для точності вимірювання оптико-електронною вимірювальною системою. Виконано розрахунок енергетичної освітленості поверхні об'єкту дослідження, тобто поверхні для якої визначаємо клас шорсткості. Експериментальним шляхом досліджено освітленість поверхні об'єкту вимірювання у два різні способи (з застосуванням фотометру та з застосуванням люксометру). Фотометр ми спроектували та зібрали власноруч, а от люксметр ми обрали для вимірювання готовим до вимірювання. Після чого отримані експериментальним шляхом результати освітленості поверхні об'єкту дослідження ми порівняли.

У дипломній роботі бакалавра ми виконали підбір та обґрунтування об'єктів, що будемо використовувати у якості тестових. Ми зазначили, що для забезпечення правильної роботи та підтвердження цього факту ми обрали еталонний тест -об'єкт мікрометричного розміру, а саме штрихову міру за ГОСТ. На спроектованому лабораторному варіанті оптико-електронної вимірювальної системи ми провели ряд досліджень з зразком (скло з шорохуватою поверхнею). Ми прописали методику дослідження та визначення класу шорсткості поверхні, що проробили експериментальним шляхом та навели результати цих досліджень у дипломній роботі.

До дипломного проекту було виконано пакет креслень згідно до технічного завдання дипломного проекту бакалавра.

Ключові слова: шорсткість, клас шорсткості вимірювальна система.



## ANNOTATION

Thesis project on "Optical-electronic measuring system of the surface roughness class of optical objects" consists of an explanatory note of 64 pages, 14 figures, 8 tables, 17 references.

The technical task for the diploma project was to design an opto-electronic measuring system so that the user could automatically determine the class of surface roughness using software and measuring system. In the diploma the analytical research of methods of definition of a class of roughness was carried out. Namely, the raster method, the method of light and shadow glow, the microinterference method and the logarithmic method. It should be noted that most methods for determining the roughness of an object are based on optical microscopy. Therefore, to build a measuring system for determining the class of surface roughness, we chose the optical method as a basis. The analytical review of devices and systems of analogues for determination of surface roughness is carried out in the work. Namely, we considered a device for measuring optically transparent objects, a device for determining roughness, a station for monitoring the roughness and contour of the surface Homm el Tester T8000 and a surface roughness meter MicroProf 200. We considered the advantages and disadvantages of each system or device analogues and determined , which we choose as a basis for designing our own measuring system.

We started designing our own system by building a block diagram of the measuring system and determining the components. The following components were selected and substantiated: CCD array cameras, optical system or device, light filters, power supply, lighting source, video capture program. On the basis of these units the laboratory stand of the optoelectronic measuring system of a class of roughness of a surface is designed. Before the start of the measurement, we performed experimental studies of the characteristics of the measuring stand (optoelectronic system), namely, the study of light signal characteristics and spectral characteristics.

In the diploma project the analysis of requirements for accuracy of measurement by optoelectronic measuring system is carried out. The calculation of the energy illuminance of the surface of the object of study, ie the surface for which we determine the roughness class. The illuminance of the surface of the object of

measurement was experimentally studied in two different ways (using a photometer and using a luxmeter). We designed and assembled the photometer ourselves, but we chose the luxmeter ready for measurement. Then we compared the experimental results of the illumination of the surface of the object of study.

In the bachelor's thesis, we selected and substantiated the objects that we will use as tests. We noted that to ensure proper operation and confirmation of this fact, we have chosen a reference test object of micrometric size, namely the dashed measure according to GOST. On the designed laboratory version of the optoelectronic measuring system, we conducted a series of studies with a sample (glass with a rough surface). We prescribed the method of research and determination of the class of floor roughness, which was done experimentally and presented the results of these studies in the thesis and work.

A package of drawings was made for the diploma project in accordance with the technical task of the bachelor's diploma project.

Key words: roughness, roughness class measuring system.

## PODSUMOWANIE

Projekt pracy magisterskiej na temat „Optyczno-elektroniczny system pomiarowy klasy chropowatości powierzchni obiektów optycznych” składa się z noty wyjaśniającej zawierającej 64 strony, 14 cyfr, 8 tabel, 17 odnośników.

Technicznym zadaniem projektu dyplomowego było zaprojektowanie optoelektronicznego systemu pomiarowego, aby użytkownik mógł automatycznie określić klasę chropowatości powierzchni za pomocą oprogramowania i systemu pomiarowego. Na dyplomie przeprowadzono badania analityczne metod definiowania klasy szorstkości. Mianowicie metoda rastrowa, metoda blasku światła i cienia, metoda mikrointerferencji i metoda logarytmiczna. Należy zauważyć, że większość metod określania chropowatości obiektu opiera się na mikroskopie optycznym. Dlatego, aby zbudować system pomiarowy do określania klasy chropowatości powierzchni, jako podstawę wybraliśmy metodę optyczną. W pracy przeprowadzany jest przegląd analityczny urządzeń i układów analogów do określania chropowatości powierzchni. Mianowicie rozważaliśmy urządzenie do pomiaru optycznie przezroczystych obiektów, urządzenie do określania chropowatości, stanowisko do monitorowania chropowatości i konturu powierzchni Hommel Tester T8000 oraz miernik chropowatości powierzchni MicroProf 200. Rozważyliśmy zalety i wady każdego systemu lub urządzenia analogi i ustaliliśmy, które wybraliśmy jako podstawę do zaprojektowania własnego systemu pomiarowego.

Zaczęliśmy projektować własny system, budując schemat blokowy systemu pomiarowego i określając elementy. Wybrano i uzasadniono następujące elementy: kamery z matrycą CCD, układ optyczny lub urządzenie, filtry światła, zasilacz, źródło światła, program do przechwytywania wideo. Na podstawie tych jednostek zaprojektowano stanowisko laboratoryjne optoelektronicznego układu pomiarowego klasy chropowatości powierzchni. Przed rozpoczęciem pomiaru przeprowadziliśmy badania eksperymentalne właściwości stanowiska pomiarowego (układu optoelektronicznego), a mianowicie badanie charakterystyki sygnału świetlnego i charakterystyki widmowej.

W projekcie dyplomowym przeprowadzana jest analiza wymagań dotyczących

dokładności pomiaru za pomocą optoelektronicznego systemu pomiarowego. Obliczanie iluminacji energetycznej powierzchni przedmiotu badań, tj. Powierzchni, dla której określamy klasę chropowatości. Natężenie oświetlenia przedmiotu pomiaru badano eksperymentalnie na dwa różne sposoby (za pomocą fotometru i luksometru). Sami zaprojektowaliśmy i zmontowaliśmy fotometr, ale wybraliśmy luksomierz gotowy do pomiaru. Następnie porównaliśmy wyniki eksperymentalne oświetlenia powierzchni przedmiotu badań.

W pracy licencjackiej wybraliśmy i uzasadniliśmy obiekty, które wykorzystamy jako testy. Zauważyliśmy, że aby zapewnić prawidłowe działanie i potwierdzenie tego faktu, wybraliśmy referencyjny obiekt testowy o wielkości mikrometrycznej, a mianowicie miarę przerywaną według GOST. W zaprojektowanej laboratoryjnej wersji optoelektronicznego układu pomiarowego przeprowadziliśmy serię badań z próbką (szkło o chropowatej powierzchni). Określiliśmy metodę badań i wyznaczenia klasy chropowatości podłogi, która została wykonana eksperymentalnie i przedstawiła wyniki tych badań w pracy i pracy.

Dla projektu dyplomowego wykonano pakiet rysunków zgodnie z technicznym zadaniem projektu dyplomowego licencjata.

Słowa kluczowe: chropowatość, system pomiaru klasy chropowatości.

## ВСТУП

Підвищення енергоефективності, поліпшення сфери вимірювання різних параметрів мережею, стандартизація обміну даними вимірювань або підвищення якості обслуговування споживачів - це лише деякі з проблем, з якими стикаються розробники всіх галузей виробництва, проектування та конструювання новітніх інформаційно-вимірювальних систем.

Світові науковці з ім'ям стверджують, що майбутнє розвитку конструювання та проектування та взагалі всієї інженерії полягає у змінах галузі за допомогою ІТ-інструментів. Сьогоднішні виклики пов'язані в основному із мінливим бізнес-середовищем енергетичних та виробничих компаній, що є найбільшими замовниками всіх новітніх вимірювальних систем, хоча слід не забувати і про медичну галузь, що також автоматизується та впроваджує велику кількість технологій.

Новітні розробки інформаційно-вимірювальних та оптико-електронних вимірювальних систем призводять, до нових очікувань споживачів, зростаючої конкуренції, а також появи споживачів та виробників відновлюваних джерел енергії, більш точних та автономних систем для вимірювання параметрів різної природи. Тому провідні країни світу, а саме Китай, Сполучені Штати Америки, Німеччина, Франція, Великобританія розвивають та підтримують дослідження та проектування нових оптико-електронних та інформаційно-вимірювальних систем для розвитку нанотехнологій, пошуку нових видів наноматеріалів та створення нових видів продукції, що розроблено на їх основі.

Проте, є частина виробничих процесів, що потребує автоматизації та запровадження новітніх інформаційних вимірювальних систем для проведення контролю у мікрометричному діапазоні. При впровадженні яких, приладобудування піднімається на більш інформаційно-технологічне місце при проведенні контролю та вимірювання різних параметрів, до таких слід віднести і шорсткість поверхні. Адже саме визначення класу шорсткості поверхні ново спроектованою вимірювальною системою є основним завданням до дипломного проекту.

Визначення шорсткості поверхні проводять для деталей та поверхонь

різних галузей, а саме, для авіаційної промисловості, для автомобільного виробництва, для виготовлення медичного устаткування, для вимірювальних систем екологічного спрямування, для систем навігації, а саме для виготовлення оптичних деталей та вузлів. Однак, звісно всі ці контролюючі функції вже виконують на всіх вищеперерахованих виробництвах та навіть не перерахованих. Однак, швидкість проведення контролю не завжди задовольняє користувача та й точність інколи бажає бути вищою, тому перед нами поставлено завдання сконструювати оптико-електронну вимірювальну систему визначення класу шорсткості поверхні, з високою швидкістю, високою чутливістю до освітлення об'єкту вимірювання.

При вимірюванні шорсткості поверхні необхідно враховувати особливості рельєфу поверхні дослідження. Зазвичай це складна топографія різна за висотою низин профілю та висотою виступів профілю. В дослідженні шорсткості поверхні ми будемо дотримуватись методики визначення шорсткості поверхні за висотою нерівностей профілю за десятьма точками профілю, що позначається  $R_z$ . Найбільшими виробництвами, що потребували для своєї роботи та були зацікавленими в розробці такої оптико-електронної вимірювальної системи є наукові виробництва та підприємства оптичного приладобудування. Постійний контроль поверхонь оптичних деталей є невід'ємною технологічною операцією нормованого та технологічного контролю виробництва оптичних лінз, дзеркал, світлових поділювачів та інших оптичних деталей.

Основна ідея дипломного проекту бакалавра є актуальною та затребуваною. Для реалізації завдання до дипломного проекту проведемо аналітичне дослідження методів та засобів визначення шорсткості поверхні та на їх основі розробимо власну вимірювальну систему. Проведемо для неї ряд експериментальних досліджень, що дозволять нам визначити характеристики, а саме світлосигнальну та спектральну характеристики. За їх графічним зображенням ми визначимо робочі діапазони сигналів та спектру саме для розробленої оптико-електронної вимірювальної системи. Також ми плануємо провести вибір тестових об'єктів та експериментальним шляхом визначити клас

шорсткості для обраного об'єкту. Плануємо метрологічно забезпечити наші вимірювання використанням еталонної штрихової міри мікрометричних розмірів.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

## 1.1 Аналітичний огляд методів

Як ми вже зазначали вище у вступі, що більшість методів на яких базується вимірювання шорсткості поверхні, розроблено на основі оптичних з методів вимірювання. Тема дипломного проекту «Оптико-електронна вимірювальна система класу шорсткості поверхні оптичних об'єктів» обмежує нас об'єктом дослідження, тобто ми працюємо з оптичними та оптично-прозорими об'єктами. І нам не потрібно досліджувати атомно-силову мікроскопію, лазерну скануючу мікроскопію, адже ці види мікроскопії застосовують для непрозорих об'єктів дослідження. А ми розглянемо методи, що широко застосовують для дослідження прозорих та напівпрозорих об'єктів вимірювання, а саме, мікроскопія світлового та тіньового світіння, метод інтерференційної мікроскопії, метод растрової мікроскопії та логарифмічний метод дослідження. Розглянемо більш детально зазначені методи, на основі яких проектують вимірювальні системи визначення шорсткості об'єктів.

### 1.1.1 Метод растрової мікроскопії

Принцип реалізації методу растрової мікроскопії полягає у наступному. Для визначення шорсткості поверхні, яка досліджується необхідно поверх об'єкту накласти сітку растрі (прозора платина з нанесеним топологічним малюнком рівновіддалених паралельних ліній з зазначеним кроком). При зміні кута нахилу джерела освітлення на об'єкт (з невизначеною шорсткістю або можна сказати з поверхнею, що має різнопрофільну геометрію поверхні) у зонах неоднакового профілю штрихи растрової сітки накладаються на штрихи реальної, у результаті чого виникають муарові смуги. А це є ознакою нерівномірності поверхні (є западини профілю та витупи профілю поверхні), тобто наявності шорсткості поверхні.

### 1.1.2 Метод, що базується на мікроскопії світлового та тіньового світіння

Метод, що базується на мікроскопії світлового світіння полягає у



наступному: джерело освітлення випромінює і світловий потік від нього надходить до щілини, що виокремлює промінь, після чого він надходить до об'єктиву під заданим кутом та перенаправляється на об'єкт дослідження. Відбитий від поверхні дослідження промінь, прямує до об'єктиву, після чого формує зображення щілини в окулярі. При відсутності западин профілю та виступів профілю поверхні відтворюється прямою лінією, а у випадку присутності западин профілю та виступів профілю поверхні, лінія буде кривою.

Метод, що базується на мікроскопії тіньового світіння полягає у наступному: на відстані від поверхні, що досліджується, закріплюємо лінійку, що має поверхню ребра розташованого під кутом. Джерело освітлення випромінює і світловий потік від нього надходить до щілини, що виокремлює промінь, після чого він надходить до об'єктиву під заданим кутом та перенаправляється на об'єкт дослідження. Відбитий від поверхні дослідження промінь, прямує до об'єктиву та зрізається ребром, що розташовано під кутом. На контрольній поверхні формується тінь від виступів та западин профілів поверхні, що досліджується. У такий спосіб визначають параметри шорсткості поверхні методом, що базується на мікроскопії тіньового світіння.

### 1.1.3 Метод інтерференційної мікроскопії

Метод інтерференційної мікроскопії полягає у застосуванні інтерферометру та оптичний мікроскоп. Інтерферометр формує інтерференційну картинку поверхні, яку досліджують. У випадку присутності западин та виступів на досліджуваній поверхні, смуги викривляються. Для збільшення отриманого зображення інтерференційної картинки використовують оптичний мікроскоп. У такий спосіб визначають параметри шорсткості поверхні методом інтерференційної мікроскопії.

### 1.1.4 Логарифмічний метод визначення шорсткості поверхні

Логарифмічний метод визначення шорсткості поверхні, що досліджується, базується на вимірюванні середнього арифметичного показника відхилення профілю. Його визначають за показниками потужності

випромінювання, що відбилось від поверхні та прямує до поверхні дзеркала, де розділяється на два промені. Перший та другий промені надходять до фотоприймачів. При застосуванні цього методу нехтуємо впливом коефіцієнту відбиття випромінювання від гладкої поверхні. Схематичне зображення реалізації цього методу наведено нижче на рисунку.

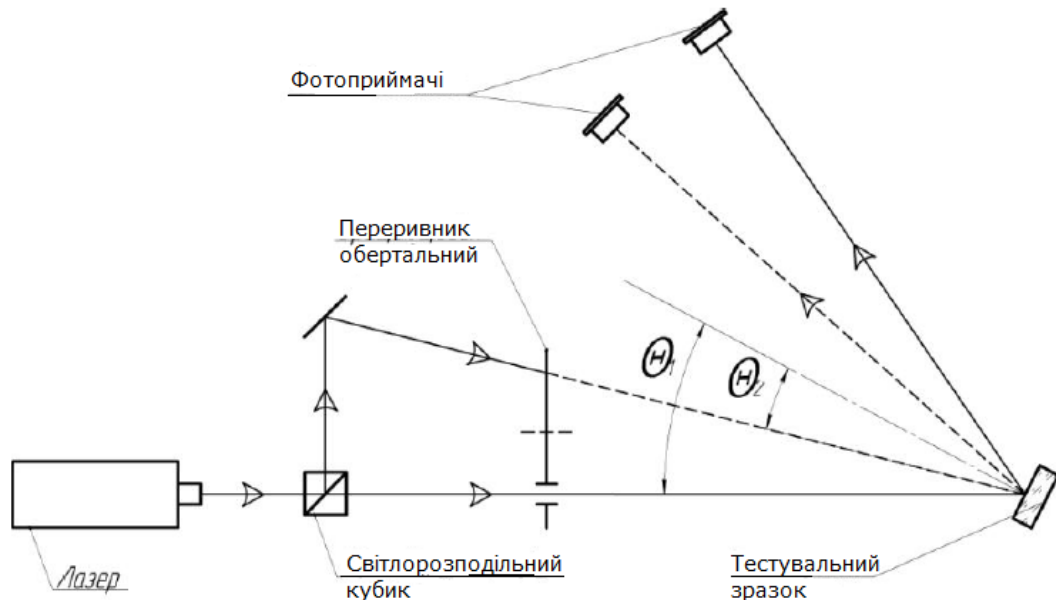


Рисунок 1.1 - Схематичне зображення реалізації логарифмічного методу [5]

З схеми видно, що до вузлів, які ходять у конструкцію реалізації логарифмічного методу, наступні: лазер, світлорозподільна лінза, дзеркало, два фотоприймачі, обмежувач, що робить випромінювання ступінчатим (у схемі має назву перервник).

## 1.2 Огляд приладів і систем визначення шорсткості поверхні

### 1.2.1 Пристрій для вимірювання параметрів оптичних поверхонь

Розпочнемо наш огляд з винаходу. А саме з установки для визначення параметрів поверхні оптичнопрозорих поверхонь у спосіб розробки моделі впливу на скляну поверхню, що досліджується, різних природніх дій. До переваг цієї установки слід віднести збільшений функціонал при вимірюванні. Конструкція установки складається з корпусу, бункерів для абразиву, тяг, гвинтового механізму, кронштейнів для кріплення об'єкту дослідження та засобу, що дозволяє переміщати об'єкт дослідження з використанням зубчастої передачі та рейки, які приходять в дію з використанням приводу.

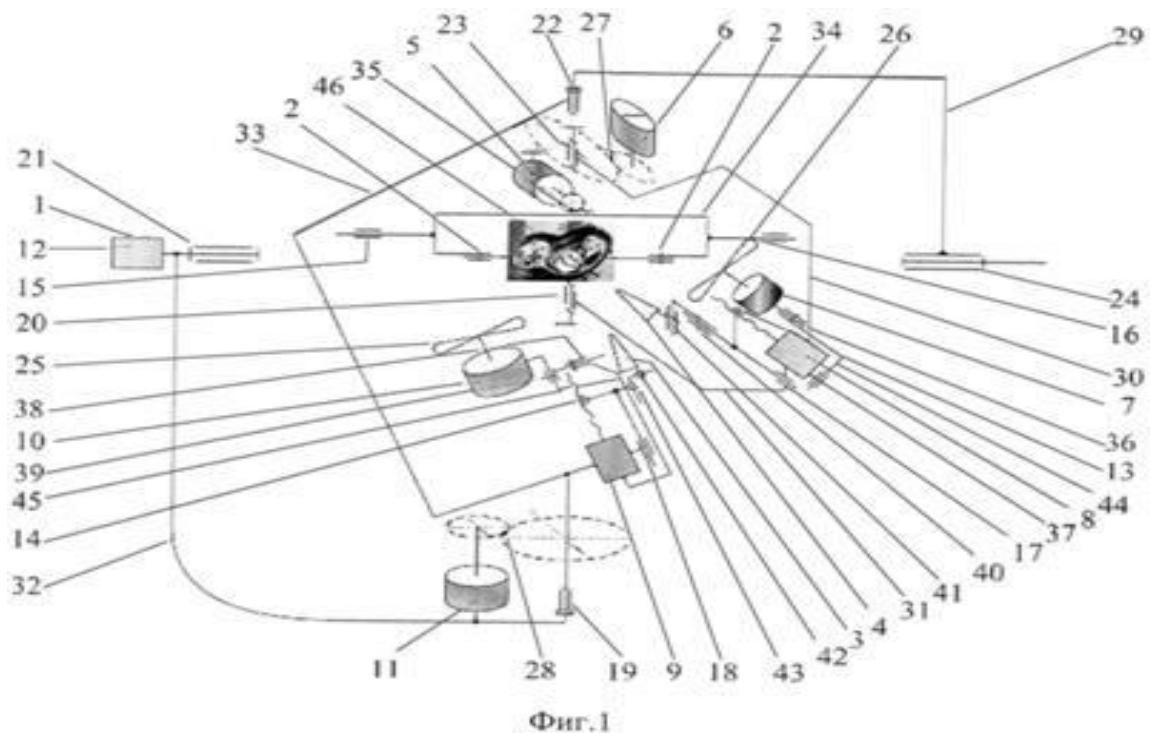


Рисунок 1.2. – Структурна схема установки для визначення параметрів оптичнопрозорих поверхонь

Дана установка є мультифункціональною і здатна проводити вимірювання декількох параметрів поверхневого шару оптичнопрозорої поверхні, не тільки шорсткість, а і зносостійкість поверхневого шару, прозорість та залишкові напруження поверхневого шару поверхні, що досліджується.

До недоліків даної вимірювальної системи (установки) слід віднести складність створення моделі впливу на поверхню розсіювача.

### 1.2.2 Пристрій визначення шорсткості

Розглянемо конструкцію та принцип дії наступного приладу, а саме профілометра. Принцип дії якого полягає у наступному: при створенні руху по поверхні, що досліджується, утворюються коливання голки, і ця механічна величина коливання трансформується в електричні сигнали. Ці інформаційні сигнали підсилюють, після чого вимірюють параметри, що характеризують нерівності поверхні, яку досліджували. Також існує можливість запису отриманих результатів щодо параметрів профілю поверхні у двох варіантах масштабів.

### 1.2.3 Профілометр

Розглянемо класичний прилад для визначення мікронних нерівностей поверхні профілю, а саме профілометр. Це прилад, що працює на електродинамічних законах, та вимірює величину середньоквадратичного відхилення профілю поверхні, що прийнято позначати  $R_a$ . На теперішній час найвідомішими конструкціями профілометрів є профілометр Кисельова та профілометр Аббота. Діапазон вимірювання нерівностей поверхонь зазначеними профілометрами обмежений у висоту профілю 6 мікрометрами. Проте існують інші конструкції профілометрів, що зможуть визначити висоту нерівностей профілю у 90 мікрометрів.

### 1.2.4. Подвійний мікроскоп Лінника

Розглянемо класичний прилад для визначення шорсткості поверхні з діапазоном вимірювання нерівностей профілю поверхні 1...60 мікрометрів.

Дана конструкція подвійного мікроскопу дозволяє збільшити досліджувану область профілю за вертикалю  $\times 15000$  та за горизонталлю  $\times 500$ . Принцип роботи у подвійного мікроскопу реалізовано у наступний спосіб: випромінювання від джерела надходить до щілини та випромінює на досліджувану площину та її нерівності під кутом  $45^\circ$  або  $60^\circ$ . У такий спосіб відбувається виявлення нерівностей, після чого визначають їх розміри. Такий мікроскоп має можливість збільшення об'єкту дослідження  $\times 50 \dots \times 600$  [6].

### 1.2.5 Мікроінтерферометр Лінника

Ми вже розглянули одну відому конструкцію відомого вченого Лінника, тепер хочемо коротко описати ще один винахід цього вченого, що дозволить вимірювати шорсткість поверхні. По-перше хочемо зазначити діапазон вимірювання, а саме, 0,1 до 5 мікрометрів. Принцип роботи конструкції мікроінтерферометру Лінника базується на явищі інтерференції світла. У якості шкали за якою визначають висоту виступають інтерференційні смуги.

### 1.2.6 Прилад визначення класу шорсткості

З попереднього аналізу видно, що всі перераховані вище вимірювальні

прилади та системи, визначали шорсткість та її показник. У наступному розгляді приладу ми наведемо приклад устаткування з використанням якого можемо виміряти клас шорсткості автоматично. У роботі такого приладу реалізовано принцип дії наведений нижче.

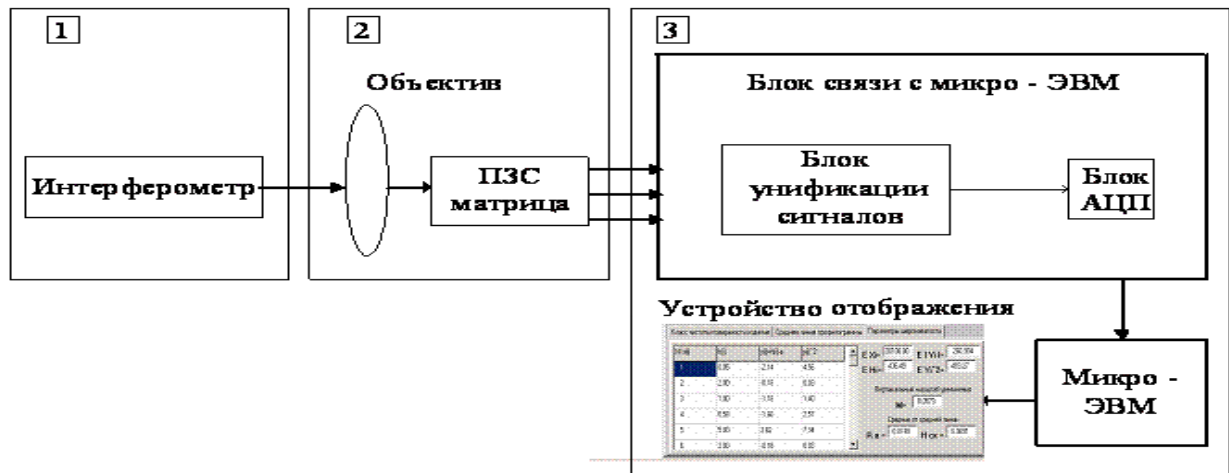


Рисунок 1.3 – Структурна схема реалізації способу вимірювання класу шорсткості

Основними вузлами конструкції є інтерферометр, що під'єднують до зразка та отримують профілограми; відеокамера, аналізатор шорсткості.

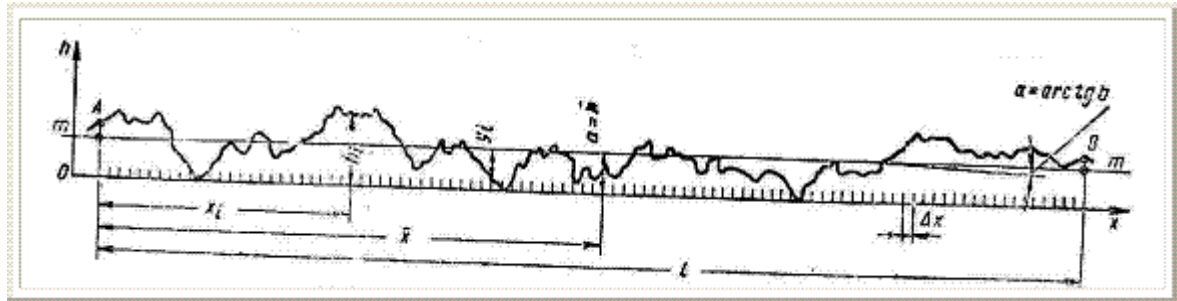


Рисунок 1.4 - Профілограма поверхні зразка, що досліджується

За графічним зображенням профілограми розраховують показники шорсткості поверхні у наступний спосіб: визначається положення середньої лінії на ній та від цього показника іде весь розрахунок інших показників. Результати вимірювання відображаються на графіку моделювання.

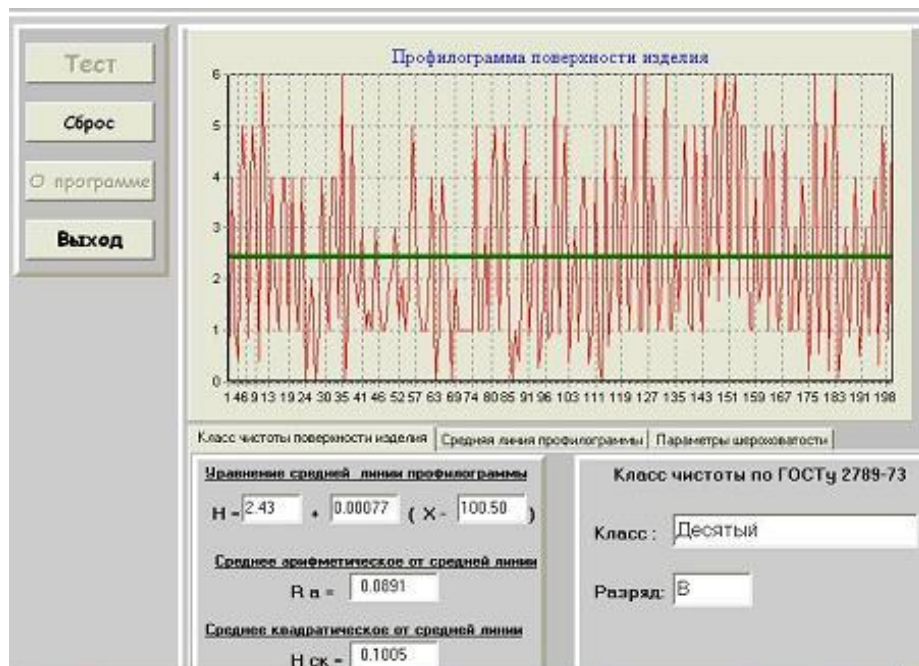


Рисунок 1.5 – Графік моделювання процесу вимірювання

### 1.3 Огляд оптико-електронних вимірювальних систем шорсткості

#### 1.3.1 Станція для контролю шорсткості поверхні Hommel Tester T8000

Розглянемо перший зразок оптико-електронної вимірювальної системи шорсткості поверхні, а саме Hommel Tester T8000. Його структура та основні вузли наведено на зображенні нижче.

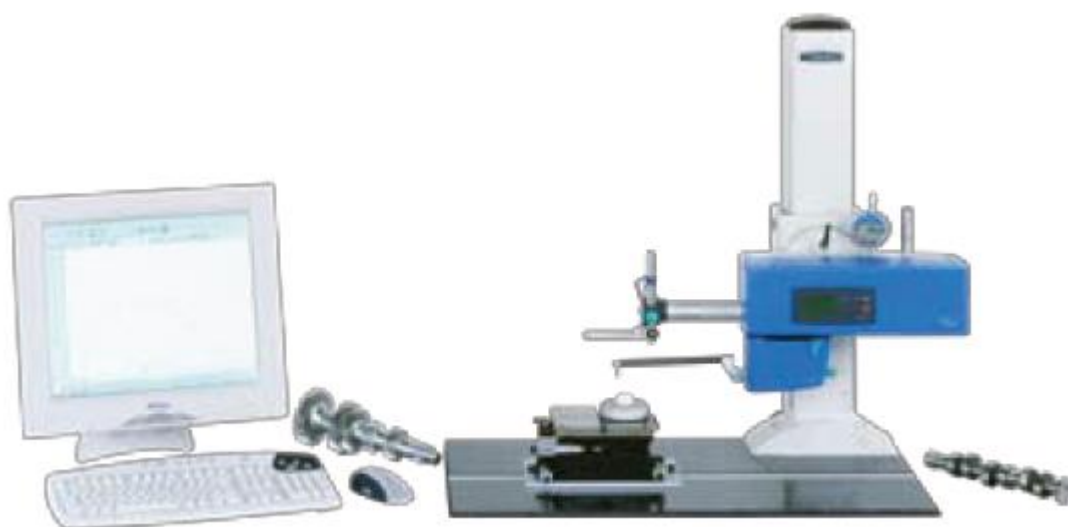


Рисунок 1.6 - Станція Hommel Tester T8000

Така вимірювальна станція має декілька програм та протоколів для обчислення та розрахунку шорсткості. Також конструкція станції дозволяє зберігати дані вимірювання в архіві. Діапазон вимірювання даної установки є

дуже широким від малих нерівностей до значно більших, можна сказати, що охоплює майже весь спектр розмірів, які прийнято вважати за шорсткість [5].

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики Hommel Tester T8000

Принцип вимірювання	контактний, із застосуванням опорних і безопорних щупів
Клас точності по DIN4772	Клас 1
Діапазон виміру / дозвіл	$\pm 8 \text{ мкм} / 1 \text{ нм}$ $\pm 80 \text{ мкм} / 10 \text{ нм}$ $\pm 800 \text{ мкм} / 100 \text{ нм}$ $\pm 8000 \text{ мкм} / 1000 \text{ нм}$
Одиниці виміру	Перемикачі мкм / мкдюйм
Фільтри	
Відсічення кроку	0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 (мм), що обирається
DIN 4768	РС дискретно обчислюваний (мм), гранична довжина хвиль 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8
DIN EN ISO 11562 , частина 1, (50 % Гаусс )	Гаусс (M1) цифровий фільтр (мм), гранична довжина хвиль 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8
DIN EN ISO 13565-1	Подвійний Гаусс (M2), Rk – параметри гранична довжина хвиль 0,025; 0,08 ; 0,25 ; 0,8 ; 2,5 ; 8
ISO 3274 / 11562	Гранична довжина коротких хвиль $\lambda_c / \lambda_s$ 30 ; 100 ; 300
Швидкість трасування $v_t$	$l_t$ - задана 0,05 ; 0,15 ; 0,5 мм / с або змінна 0,01 - 2,0 мм / с на 0,01 щаблі
Довжина трасування $l_t$	0,48 ; 1,5 ; 4,8 ; 15 ; 48 мм або змінна від до 0,1 - 200 мм
Довжина оцінки $l_m$	0,40 ; 1,25 ; 4,0 ; 12,5 ; 40 мм або змінна відсічення граничної

	ДОВЖИНИ ХВИЛЬ
Відсічення кроку $\lambda$ [мм]	0,08 ; 0,25 ; 0,8 ; 2,5 ; 8
Прямолінійність ходу приводу	см. характеристики для приводів waveline
Вимірювані параметри шорсткості	
DIN EN ISO 4287	Ra ; Rz ; Rmax ; Rt ; Rq ; Rsk ; lmo ; lo ; Rdq ; da ; ln ; La ; Lq ; Rz -ISO ; R3z ; Rpm ; Rp3z ; R3zm ; Rp ; D ; RPc ; RSm ; Rpm/R3z ; lr ; Rku ; tpif ; Rdc ; tpia ; tpip ; tpic ; Rt / Ra ; Rz1 ; Rz2 ; Rz3 ; Rz4 ; Rz5 ; Rmr ; Rmr % ; Api
DIN EN ISO 13565	Rk parameters Rpk ; Rpk ; Rk ; Rvk * ; Rvk ; Mr1 ; Mr 2 ; A1; A2; Vo ( 70 %) 0.01 * Rv / Rk
Профільні параметри по DIN EN ISO 4287	Pt. ; Pp ; Pz ; Pa ; Pq ; Psk ; PSm ; Pdq; lp ; Pku ; tpa f ; tpa a ; tpab ; tpac ; Pmr0; APa ; APa % ; Pmr ; Pmr % ; Pdc
Параметри хвилястості по DIN EN ISO 4287	Wt . ; Wp ; Wz ; Wa ; Wq ; Wsk ; WSm ; Wdq ; lw ; Wku ; Wdc
Параметри хвилястості по VDA 2007	WD1c ; WD1t ; WD1sm ; WD2c ; WD2t ; WD2sm
Параметри Motif по DIN EN ISO 12085	R; Rx ; AR ; Nr ; W; Wx ; AW ; Nw ; Wte ; Pδ c (CR , CL , CF)
Діапазон вимірювання	60мм 20мм
Робоча температура	+5 ... +40 ° C
Відносна вологість повітря	до 85 %
Похибка вимірювання	± 1 мкм
Маса кг	8



### 1.3.2 Вимірювач шорсткості MicroProf 200



Рисунок 1.7 – Зображення вимірювача шорсткості MicroProf 200

Зазначена модель вимірювача є мультифункціональним вимірювальним комплексом, у конструкції якого є багато сенсорів з високою роздільною здатністю, що і вимірюють топографічний рельєф та зображення контуру площини дослідження. Зазначений вимірювальний комплекс є автоматизованою системою, що вимірює параметри перераховані нижче: виступів та западин профілів

- висоту виступів профілів поверхні;
- висоту западин профілів поверхні;
- товщина поверхні
- знос поверхні;
- дефекти у об'ємних зображеннях;
- хвилястість поверхні.

Даний вимірювач може реалізовувати принципи хроматографії та визначати відстані на більшості поверхонь яким властиві відбивання світла (дзеркала) або поглинання світла (поглинаючі пластики), тобто він може досліджувати об'єкти з якими не працюють інші вимірювальні системи та прилади [3].

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики вимірювача шорсткості MicroProf® 200

Датчик	Мультисенсор
Вимірювальний стіл	
Область переміщення	250 мм x 200 мм
Крокова здатність	50 нм
Максимальна швидкість	300 мм/с
Навантаження	5 кг
Вісь Z	моторизована
Вертикальне переміщення	50 мм (100 мм змінюється опціями)
Системні вимоги	
Загальні	чистота, постійна температура, відсутність вібрації
Напруга	110 В / 220 В змінного струму
Розміри (довжина x ширина x висота)	1100 мм x 820 мм x 1800 мм
Вага	500 кг
Параметри (вимірювальна головка)	CWL 600 мкм
Область вимірювань XY	250 мм x 200 мм
Область вимірювань Z	600 мкм
Поздовжній дозвіл	2 мкм
Вертикальна роздільна здатність	6 нм

У розділі проведено аналітичний огляд приладів та систем аналогів для визначення шорсткості поверхні. А саме, ми розглянули пристрій для вимірювання оптичний прозорих об'єктів, пристрій для визначення шорсткості, профілометр, подвійний мікроскоп Лінника, мікроінтерферометр Лінника, станцію для контролю шорсткості і контуру поверхні Hommel Tester T8000 та вимірювач шорсткості поверхні MicroProf 200. Ми розглянули переваги та недоліки кожної з систем або приладів аналогів та визначились, що оберемо за основу для проектування власної вимірювальної системи.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 2.1 Конструкція оптико-електронної вимірювальної системи

У дипломному проекті бакалавра ми розробили структурну схему оптико-

електронної вимірювальної системи для визначення шорсткості оптичних поверхонь. Наша розробка наведена на рисунку нижче.

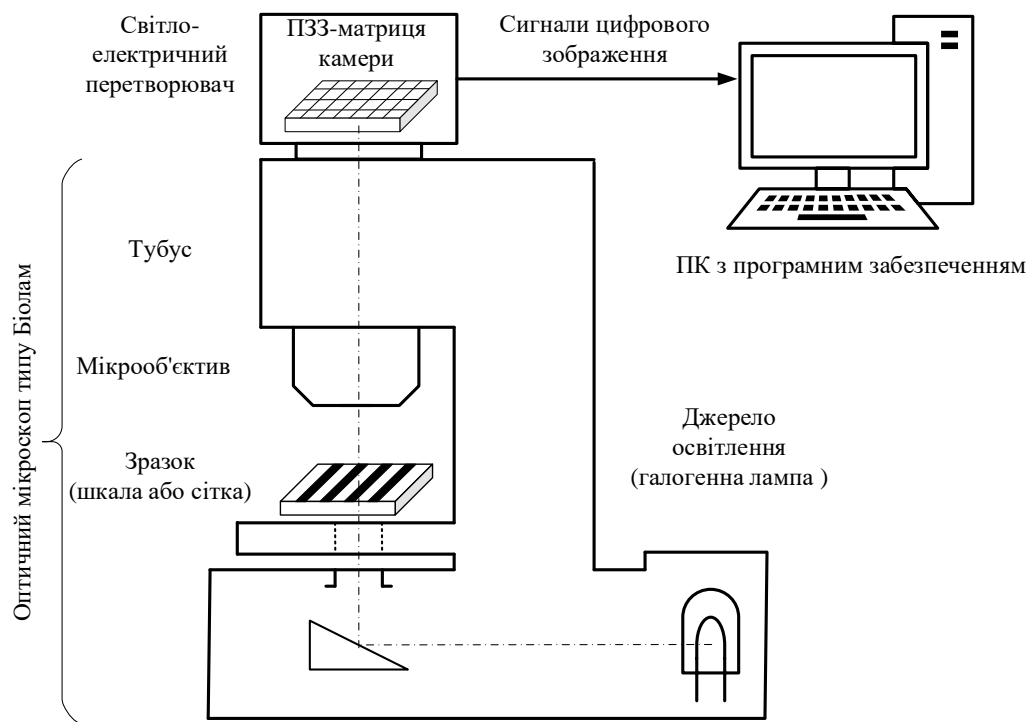
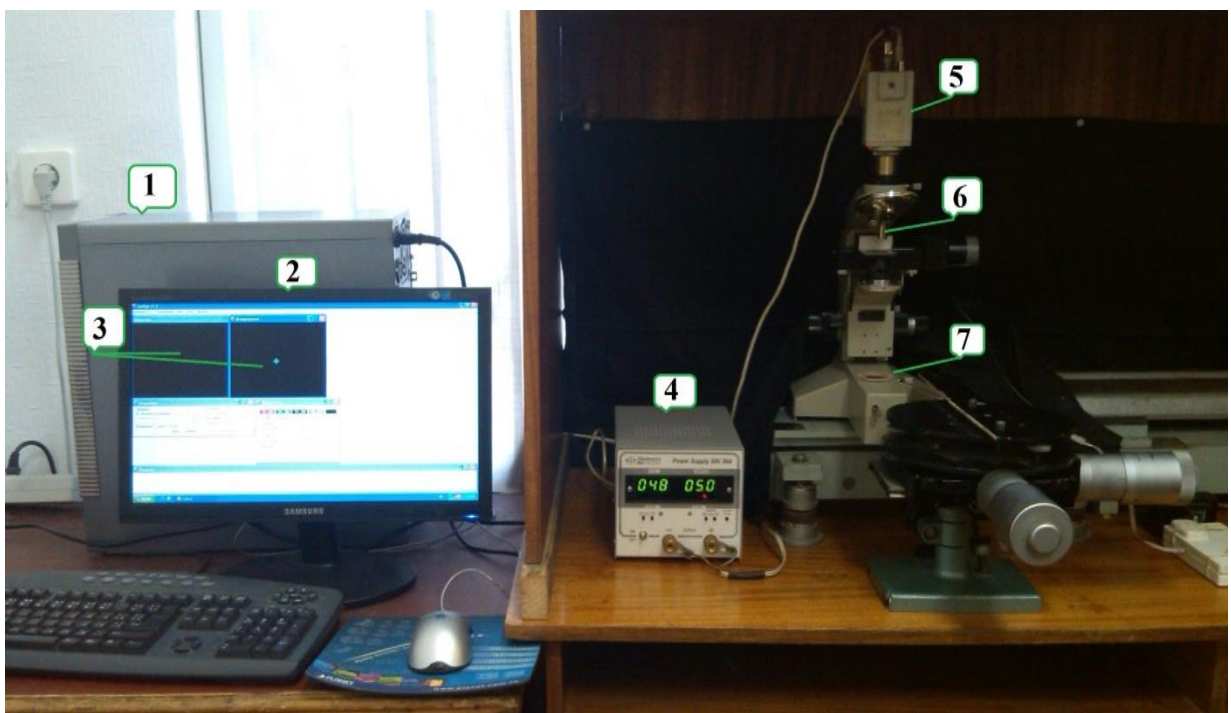


Рисунок.2.1 – Конструкторське рішення щодо структурної схеми вимірювального комплексу

За цією схемою було складено вимірювальну систему, що наведено на рисунку нижче. Оскільки система ще на етапі лабораторного дослідження та випробування, тому у тесті дипломної роботи ми будемо використовувати термін лабораторний стенд.



## Рисунок 2.2 – Зображення вимірювальної системи, що побудовано за структурною схемою

Запишемо, які вузли ми використали для створення вимірювальної системи за структурною схемою. Конструкція оптико-електронної вимірювальної системи складається з наступних основних вузлів: оптичного мікроскопу Біолам Л211; збільшувача об'єктивів; телевізійної камери MINTRON з ПЗЗ матрицею; комп'ютеру з програмним забезпеченням; монітор.

Наш вибір припав на перераховані вище елементи через ряд їх переваг та доступність. Опишемо коротко основні технічні характеристики деяких вузлів оптико-електронної вимірювальної системи. Розпочнемо наш огляд з оптичного мікроскопу. Даний мікроскоп було обрано через його доступність це, по-перше, а ,по-друге, його технічні властивості до збільшення об'єктів не потребують покращення зображень отриманих в такий спосіб. якщо взяти будь-яких доступний для нас китайський мікроскоп, то ми побачимо, що лінзи виготовлені з пластмаси, хоча в деяких китайських зразках мікроскопів є прекрасне збільшення. Для оптичного мікроскопу Біолам є гарна можливість модернізувати його до оптико-електронної вимірювальної системи оптичних поверхонь. Конструкція мікроскопу дозволяє закріпити до нього цифрову телевізійну камеру з ПЗЗ матрицею для можливості отримання цифрового зображення об'єкту дослідження та за цим зображенням отримати необхідну інформацію про об'єкт. Хоча у даного мікроскопу є нестабільним джерело живлення і це є певною проблемою для визначення мікрометричних розмірів, якими є шорсткість. Однак, цей недолік ми можемо легко усунути, застосувавши інший варіант освітлення при необхідності, все покажуть характеристики даного і вимірювальної системи, за якими ми зможемо сказати можна використовувати дане джерело освітлення чи ні.

У класичному варіанті освітлювача до оптичного мікроскопу Біолам є ОІ-13, так називається весь вузол освітлення. Взагалі в цьому вузлі використовують у якості джерела освітлення галогенну лампу з ниткою розжарення, цоколь якої заповнюють галогенітом. Проте до переваг класичного

вузла освітлення слід віднести швидке перемикання між світлим та темним полями., високий контраст зображень, конденсор мікроскопу регулює діафрагму апертури та ірисову діафрагму.

Камеру, що ми обрали для створення лабораторного станду оптико-електронної вимірювальної системи, стала камера Mintron MTV 12V1C –EX. Такий вибір ми зробили через доступність цієї камери, оскільки вона є новою, проте, відповідає технічним вимогам до камери згідно з технічним завданням до дипломного проекту. Матриця камери SONY 1/3'' з роздільною здатністю 795 x 596. Геометричний розмір одного пікселя 3,7 x 3,7 мікрометрів та максимальною чутливістю матриці при довжині хвилі 610 нм. Хочемо зазначити, що цей показник відповідає видимому спектру випромінювання та задовольняє вимоги згідно технічного завдання до диплому.[14]

## 2.2 Визначення характеристик оптико-електронної вимірювальної системи

До переліку основних характеристик оптико-електронної вимірювальної системи, що визначають параметри роботи, тобто вимірювання шорсткості об'єктів, та роботі діапазони системи слід віднести:

1. Світлосигнальна характеристика. За цією характеристикою ми можемо визначити робочий діапазон сигналів, на якому слід проводити вимірювання, у інакшому випадку у показник вимірюного числа буде привноситись похибка. У загальному випадку за визначенням це залежність сигналу від кількості світла (випромінювання), що надійшло на матрицю.

2. Спектральна характеристика. За цією характеристикою ми можемо визначити робочий діапазон довжин хвиль, на якому слід проводити вимірювання, у інакшому випадку у показник вимірюного числа буде привноситись похибка. У загальному випадку за визначенням це залежність сигналу від довжини хвилі, що надходить з випромінювання матриці оптико-електронної вимірювальної системи. Хочемо зазначити, що спектральні діапазони вимірювання, що визначаються або експериментально або за технічними характеристиками для камери (це приблизне значення адже кожен елемент вимірювальної системи привносить зміну у спектральну

характеристику оптико-електронної вимірювальної системи). Якщо замінити оптичний вузол вимірювальної системи або камеру, тоді необхідно визначати спектральну характеристику для всієї вимірювальної системи наново.

3. Роздільна здатність вимірювальної системи. Цей показник ми не можемо встановити точно до проведення експериментальним шляхом вимірювань з залученням еталонних засобів вимірювання. У загальному випадку за визначенням це мінімальний відстань між двома точковими джерелами світла, при світінні яких вони сприймаються як два окремих тіла, а не одне зливе.

4. Пороговий контраст. За цією характеристикою ми можемо визначити показник граничного контрасту, коли шум на матриці перевищує допустимий рівень та ми можемо проводити вимірювання необхідного параметру з необхідною точністю. Для кожної конкретної вимірювальної системи показник контрасту є різний. За дотримання вимоги вимірювання у межах порогового контрасту, ми отримуємо чіткі границі об'єкту дослідження на зображенні. При вимірюванні необхідних параметрів об'єкту при нижчому показнику контрасту, а ніж граничний, точність є низькою, адже не витримано умови щодо освітлення об'єкту і камера не здатна зафіксувати необхідні зміни або параметри. За класичним визначенням пороговий контраст визначається за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{\text{ex}} q(E)}, \quad (2.1)$$

де  $K_{\text{ex}}$  - числовий показник вхідного контрасту;

$q(E)$  - числовий показник відношення сигнал / шум за умови параметру освітленості  $E$ ;

$q_{\Pi}(P)$  - числовий показник відношення сигнал / шум за умови параметру імовірності  $P$ .

За технічним завданням до дипломного проекту пороговий контраст спроектованої оптико-вимірювальної системи класу шорсткості дорівнює 0,15.

5. Освітленість. За цією характеристикою ми можемо визначити освітленість об'єкту дослідження. При низьких показниках цього параметру

знижується контраст зображення, що у свою чергу збільшує рівень порогового контрасту. Якщо , наприклад, пороговий контраст дорівнював 0,15, тоді при зниженні освітленості, він може дорівнювати 0,3. І це значно знижує якісні показники оптико-електронної вимірювальної системи. За класичним визначенням освітленість об'єкту визначається за формулою:

$$E = F/S, \quad (2.2)$$

де  $F$  - світловий потік, який надходить від джерела освітлення на вимірювальну поверхню об'єкту;

$S$  – площа об'єкту, що освітлена джерелом випромінювання (галогенна лампа у класичному виконанні оптичного мікроскопу Біолам).

6. Порогова освітленість об'єкту. За цією характеристикою ми можемо визначити показник граничної освітленості об'єкту, коли матриця камери сприймає розміри та параметри об'єкту дослідження без викривлень.

### 2.2.1 Вимірювання світлосигнальної характеристики оптико-електронної вимірювальної системи

Дослідження світлосигнальної характеристики проводилось на оптико-електронній вимірювальній системі. Оскільки, світлосигнальна характеристика вимірювальної системи це залежність сигналу на виході системи від кількості світла (випромінювання), що надійшло на матрицю. Тоді ми розуміємо яким чином нам необхідно проводити експериментальні дослідження світлосигнальної характеристики. По – перше, необхідно мати джерело випромінювання світла, а, по- друге, чимось обмежувати необхідний діапазон довжин хвиль. Для цього можна використовувати світловий фільтр, що виокремить діапазон хвиль або можна використовувати монохроматор, він здатен виокремити конкретну довжину хвилі. У – третє, необхідно чимось фіксувати сигнал на виході вимірювальної системи. Як було зазначено у технічному завданні до дипломного проекту бакалавра вихідний сигнал лежить в діапазонів в 0 до 255 умовних одиниць аналого-цифрового перетворювача. Ми оберемо для виділення діапазону довжин хвиль світловий фільтр НС6,

оскільки за технічним завданням до диплому ми можемо проводити вимірювання в видимому діапазоні, тобто 0,38-0,78 мкм або перепишемо 380-780 нм.

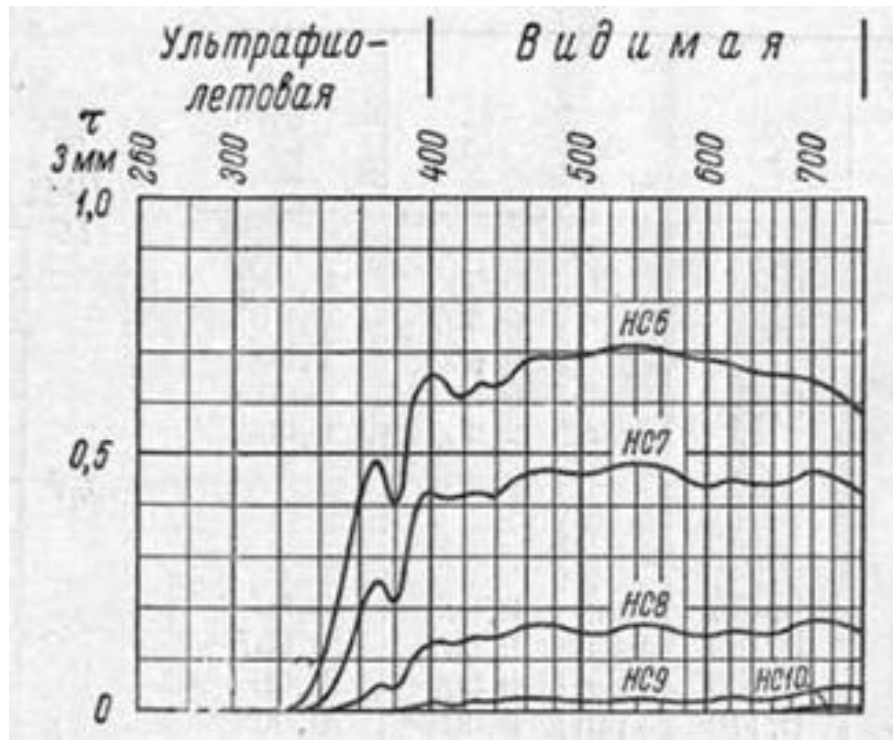


Рисунок 2.3 – Спектральна характеристика світлового фільтру НС6

Застосування світлового фільтру НС6 виокремить з всього спектру світла, що випромінюється від джерела освітлення, саме необхідний нам діапазон довжин хвиль 380-780 нм.

Дослідження світлосигнальної характеристики будемо проводити експериментальним шляхом визначення сигналу на виході системи, що пропорційний освітленості матриці камери, що ми обрали. Дослідження розпочинаємо з повного відкриття апертури діафрагми до максимального закриття. При цьому постійно записуємо показники. Дослідження проводиться при повній темноті, що можна досягнути, затемнені вікна чорною тканиною, вночі, та з ширмою з щільної тканини, що відокремлює оптико-електронну вимірювальну систему від можливого світлу. Хочемо зазначити, що пониження світлового випромінювання на матриці камери, проводили за рахунок перекриття ірисової діафрагми. Пониження ірисової діафрагми виконували до (а саме на 10% від загального світлового потоку) рівня числового показника на скільки знижує весь сигнал світловим фільтром ФІ08, потім фільтр прибирали



та виставляли отриманий показник з фільтром ФІ08 з використанням ірисової діафрагми. Такі дії повторювали до максимального закриття ірисової діафрагми. Після проведеного експериментального дослідження отримуємо графічну залежність, що розраховуємо з використанням закону Ламберта – Бугера – Бера, що відтворює залежність поглинання кількості енергії в залежності від товщини шару, крізь яке проходить світло від джерела випромінювання, та кількості вхідної енергії  $M_1$ , ми отримає кількість енергії на виході  $M_2$ :

$$M_1 = M_0 e^{-K_\lambda l}, \quad (2.3)$$

де  $M_0$  - інтенсивність вхідного потoku випромінювання від джерела освітлення;

$l$  - товщина шару речовини, через який проходить світло;

$K_\lambda$  - показник поглинання

При проведенні даного експериментального дослідження світлосигнальної характеристики ми проводили його на самій вимірювальній системі без використання додаткового устаткування або приладів, тому можемо сказати, що такий результат є метрологічно не залежним від нерівності освітлення кожного елементу пристрою з зарядовим зв'язком. У такий спосіб нам вдалось уникнути інструментальних похибок вимірювання шорсткості поверхні оптично прозорих та оптичних деталей. Тому прийmemo умові, що показник поглинання є однаковим для кожної точки площини дослідження. Отдже перепишемо закон у вигляді

$$\frac{M_1}{M_0} = e^{-K_\lambda l}, \quad (2.5)$$

Пролагорифмуємо попереднє рівння та отримаємо логарифмічну залежність коефіцієнту поглинання від відношення випромінювання (енергії), на вході площини дослідження до енергії, що залишилась після проходження крізь досліджувану площину. Отримаємо логарифмічний закон у вигляді

$$\ln\left(\frac{M_1}{M_0}\right) = -K_\lambda l. \quad (2.6)$$

Як видно з наведеного логарифмічного закону нам необхідно отримати

масив даних про вимірювання випромінювання до та після проходження через об'єкт дослідження. Визначити їх середньоарифметичні показники, визначити їх частку (відношення  $M_1/M_2$ ) та графічно відобразити отримані дані. У такий спосіб буде отримано логарифмічну залежність коефіцієнту поглинання від кількості понижень, що ми робили при експериментальному дослідженні світлосигнальної характеристики з застосуванням світлового фільтру ФІ08. Цю методику описано вище у розділі. Після виконання вище перерахованих дій ми отримали результати, за якими побудували графік, що наведено нижче.

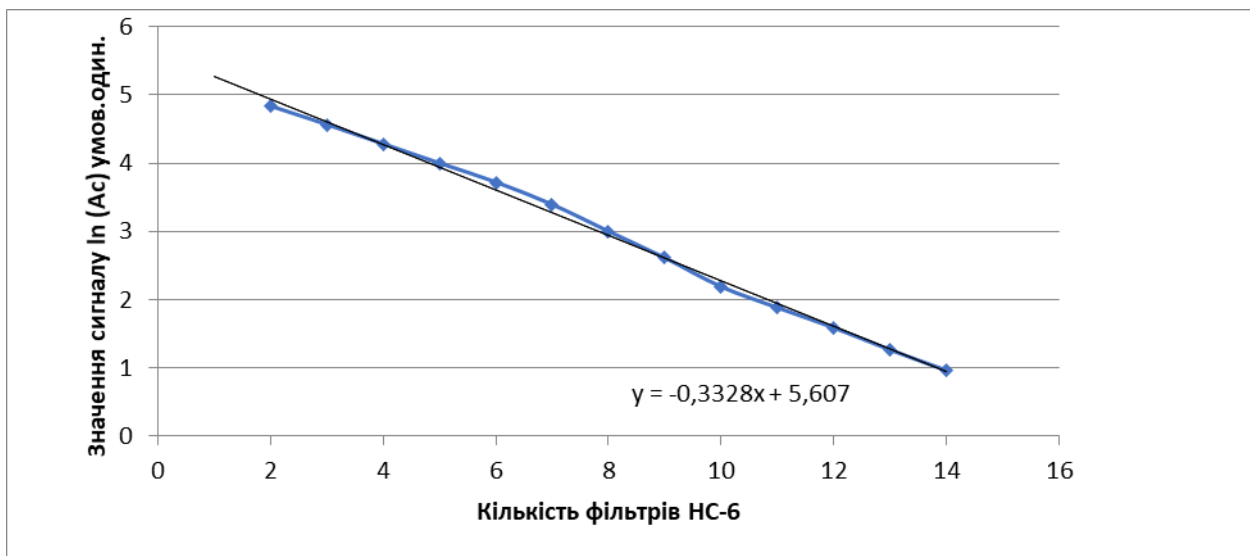


Рисунок 2.4 – Графік логарифмічної залежності отриманих даних

Графічна залежність була побудована в програмному забезпеченні Microsoft Excel. Дане програмне забезпечення дозволяє будувати графіки та виводити на графічне поле додаткову інформацію про криву, що побудовано. Ми також скористались цими функціоналом та побудували графік з автоматичним визначенням рівняння кривої, яким описується отримана крива  $y = -0,3345x + 6,4481$ . Дане рівняння підлягає класичному виду лінійного, що описується формулою  $y = -ax + b$ . У цьому рівнянні саме складова при  $x$  відповідає за нахил кривої. А для нашого випадку це  $i$  є коефіцієнт поглинання вимірювальної оптико-електронної системи. Тобто  $a = -K_\lambda l = \tau$ . З урахуванням даного рівняння перепишемо рівняння (2.6) з заміною показника

$$a, \text{ та отримаємо } \frac{M_1}{M_0} = e^{-0,3345} \approx 0,72.$$

Оскільки, ми ще на початку проведення експериментального дослідження у вимірювальну систему додали світловий фільтр НС6, для виокремлення спектрального діапазону, що відповідає видимому спектру, а його спектральна характеристика наведена вище у підтвердження нашого рішення, тому нам необхідно це врахувати. А це робиться наступним чином: всі коефіцієнти поглинання між собою перемножуються, тобто ми маємо визначати добуток. Перерахуємо та отримаємо новий графік залежності з урахування світлового фільтру НС6.

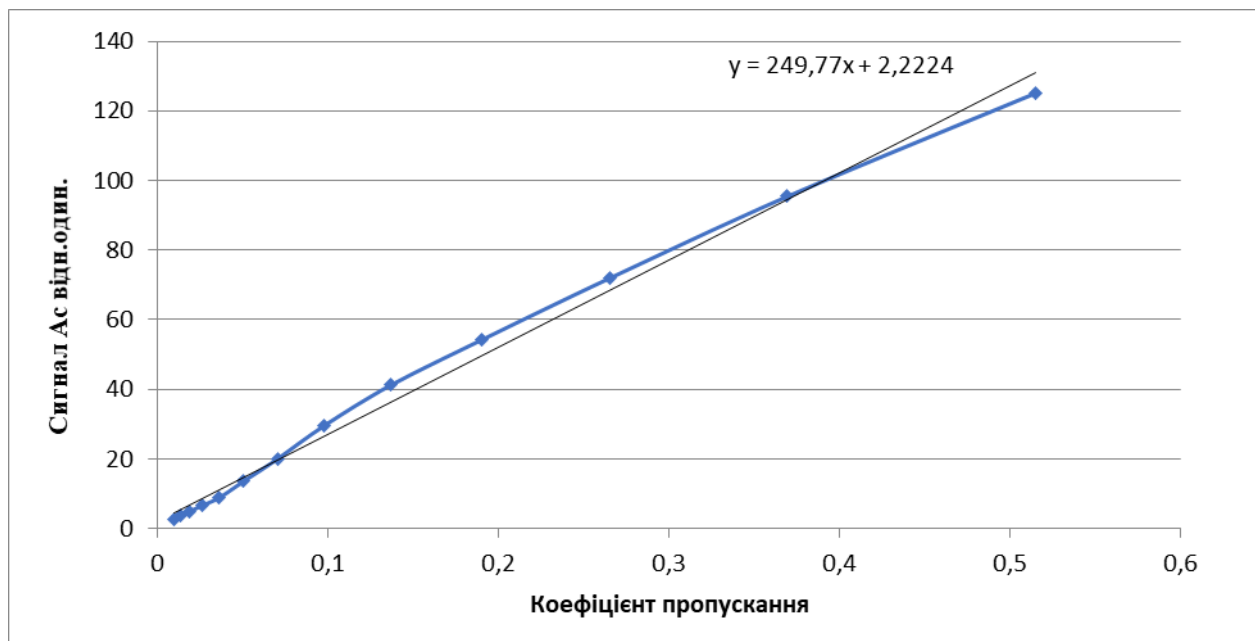


Рисунок 2.5 – Світлосигнальна характеристика оптико-електронної вимірювальної системи визначення класу шорсткості оптичних об'єктів

При розрахунку показника поглинання необхідно врахувати коефіцієнт відбиття для НС6. Це ми виконали з застосуванням ГОСТ 9411-91, з якого ми визначили коефіцієнт відбиття при дожинах хвиль видимого діапазону дорівнює  $\tau = 0,77$  нм. Якщо прийняти максимальний сигнал дорівнює одиниці, тоді коефіцієнт пропускання розрахуємо за формулою

$$1 - 0,036 = 0,964 \text{ нм}, \quad (2.8)$$

Ми же писали, що розрахунок вели для однієї поверхні, а для врахування коефіцієнту пропускання для світлового фільтру, що використовували, нам необхідно виконати дію добутку, тобто піднести цей показник до квадрату і в такий спосіб отримаємо показник для двох поверхонь. Отримаємо 0,929 нм.

Для отримання кінцевого результату, а саме показника значення коефіцієнту поглинання необхідно виконати добуток коефіцієнту пропускання обох поверхонь на  $\tau$ , після проведення таких дій отримано результат 0,716 нм. Можемо зазначити, що експериментальне дослідження та теоретичне мають практично однакові показники, тобто можемо сказати, що система працює вірно. А різниця вимірювання дорівнює 0,0016 нм.

### 2.2.2 Визначення спектральної характеристики оптико-електронної вимірювальної системи

Другою характеристикою для оптико-електронної вимірювальної системи, що ми будемо визначати є спектральна характеристика. Дуже важливо, щоб спектральні діапазони вимірювальної системи та об'єкту дослідження співпадали хоча б частково. У інакшому випадку, якою б гарною не була вимірювальна система, вона не зможе проводити вимірювання для об'єкту. Тому зазначимо, що об'єкт вимірювання, тобто оптична площа, за технічним заданням до дипломного проекту має спектр випромінювання 0,38-0,378 мікрометрів. Тому необхідно, щоб спектральна характеристика співпадала або хоча б перетиналась діапазонами з об'єктом. І всі майбутні вимірювання ми будемо проводити на середньому показнику максимумі двох спектральних діапазонів.

Метод визначення спектральної характеристики наступний: випромінювання від джерела надходить до оптичної складової, тобто об'єктиву ОЕВС, попередньо перетинаючи площину світлового фільтру, що виокремлює спектральний діапазон довжин хвиль, після чого послідовно пропускають через ОЕВС. Таку послідовність дій повторюють до п'яти раз. При цьому дослідженні фіксуються всі показники потоку випромінювання та відповідного сигналу на виході системи. За результатами такого дослідження визначають величину спектральної характеристики оптико-електронного вимірювальної системи. Даний метод вимірювання спектральної характеристики є досить простим, хоча має один недолік, що може перекреслити можливість проведення такого дослідження. А саме, якщо у вас немає наявності еталонного джерела випромінювання, дане дослідження не виконати. У нашому випадку ми

використовували еталонне джерело випромінювання, а саме еталонну лампу СИ 10300.

На рисунку нижче ми привели структурну схему нашої оптико-електронної системи для визначення спектральної характеристики оптико-електронної вимірювальної системи.

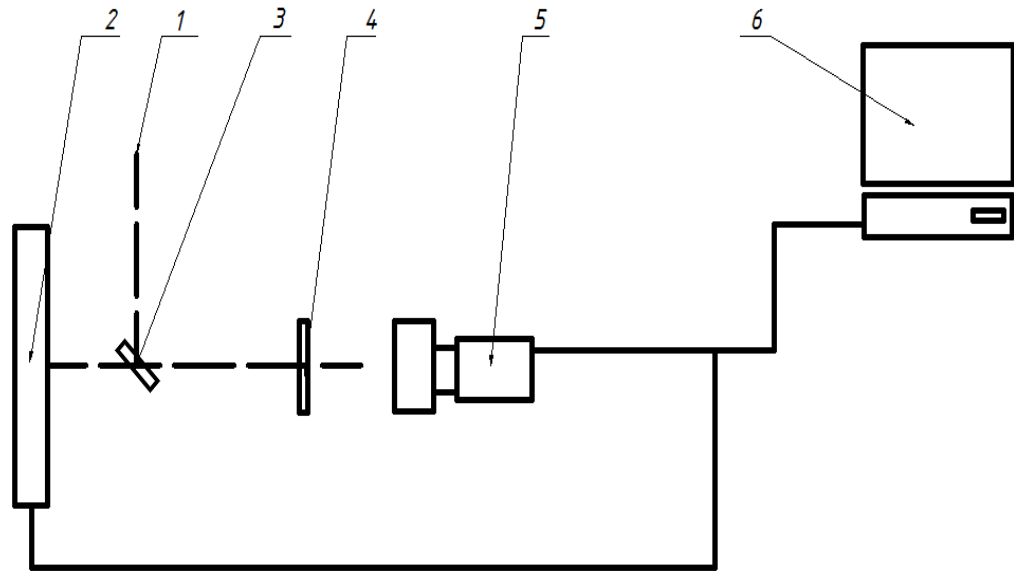


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи для визначення спектральної характеристики

До основних вузлів такої вимірювальної системи ми віднесли наступні: 1 джерело випромінювання, монітор 2, дзеркало 3, світловий фільтр 4, камера 5, блок обчислень 6.

Як ми вже описували методику визначення спектральної характеристики циклічним чином, можемо казати, що таке циклічне визначення показників дозволяє підвищити точність вимірювання спектральної характеристики.

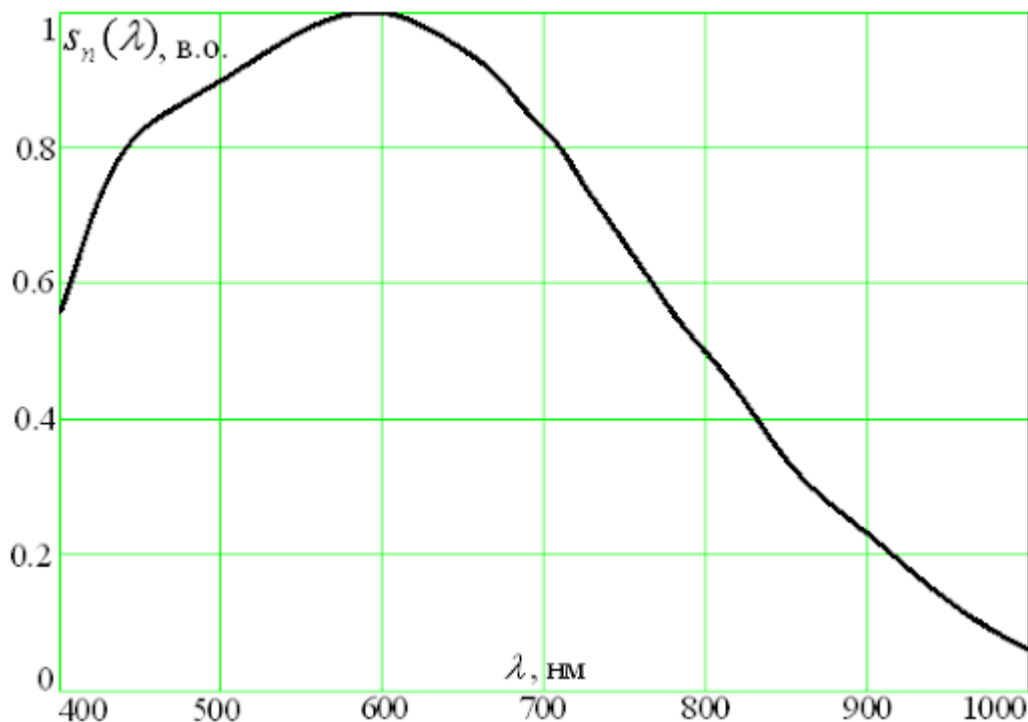


Рисунок 2.7 – Спектральна характеристика оптико-електронної вимірювальної системи

З графічного зображення можемо зробити висновок, що спектральні характеристики оптико-електронної вимірювальної системи та об'єкту дослідження перетинаються спектральними діапазонами. Значить ми можемо розпочинати вимірювання геометричних розмірів, а саме шорсткості.

### 2.3 Аналіз вимог до діапазонів та точності вимірювання

У технічному завданні до дипломного проекту було поставлено завдання виконати аналітичне дослідження щодо діапазонів та точності вимірювання. Отже розглянемо основні види виробництв та відповідні їм діапазон та точність вимірювання. Для огляду ми будемо брати безконтактні вимірювальні системи. З використанням яких користувач отримує інформацію про об'єкт методом зчитування інформації безконтактно, а з отриманої інформації визначають необхідні користувачі данні. Це можуть бути геометричні розміри, шорсткість, дефекти, висота виступів профілів поверхні, висота западин профілів поверхні, товщина поверхні, знос поверхні, дефекти у об'ємних зображеннях та інше.

У такий безконтактний спосіб, що ми будемо використовувати для аналізу класу шорсткості поверхні оптичних деталей принцип роботи полягає у наступному: у вимірювальній системі є фоточутливий елемент, що сприймає

випромінювання від об'єкту дослідження та з застосування спеціалізованого програмного забезпечення ми отримуємо інформацію про розміри, дефекти, температуру (при застосуванні інфрачервоної камери) та інше.

У таблиці інформацію про показники точності ми будемо надавати у відносних одиницях тобто у відсотках, адже знайшли більше інформації у такому вигляді, і для зручності та єдності представлених даних перевели інші показники точності у відсотки.

Таблиця 2.1 – Інформація про діапазони й точність вимірювальних систем для різновидів промисловості

Назва	Величина, що контролюється	Діапазон	Точність
Криміналістика	розмір білкових молекул	від 3 до 10 нм	0,5%
Приладобудування	деталі мікроструктури металів і сплавів	не менше 0,2 мкм	0,5%
Медицина	розміри мікроорганізмів	0,2-5 мкм	1%
Машинобудування	розмір зернини	від 1 до 1000 мкм	2%
Фізико-хімічних та технологічних	порошку бодяги	від 50 до 350 мкм.	1%
Цементна промисловість	Розмір частинки	0,1-120 мкм	1%
Харчова промисловість	Контроль якості продукції, сировини. ГМО	0,04 – 2500 мкм	1%
Електроніка	Аналіз наноструктурних елементів (квантових точок, ниток та 39н.)	не менше 1 мкм	0,1%

Як видно з таблиці з інформацією про діапазони й точність вимірювальних систем для різновидів промисловості, точність вимірювання для всіх систем є дуже високою, навіть для галузей будівництва, а саме для виготовлення цементу точність контролю становить 1 %. Що каже про високі та жорсткі вимоги щодо точності вимірювання параметрів для кожного виду виробництва. Що ж стосується діапазонів вимірювання, то можемо сказати, що найнижчий діапазон вимірювання має криміналістика 3 – 10 нм, харчова промисловість 0,04 – 2500 мкм, цементна промисловість 0,1 – 120 мкм, медицина 0,2 – 5 мкм, електроніка від 1 мкм, машинобудування 1 – 1000 мкм.

2.4 Розрахунок енергетичної освітленості поверхні об'єкту при дослідженні параметрів шорсткості поверхні

#### 2.4.1 Експериментальне дослідження матриці

Для експериментального дослідження матриці ми провели наступні дії. По-перше, розробили методику дослідження матриці камери, що використовуємо в конструкції оптико-електронної вимірювальної системи. Суть методики полягала у знатті випромінювання по піксельно з всієї матриці. Це дослідження ми виконували построчно, адже розмір матриці 240x320. Як видно дане дослідження було досить громіздким та потребувало правильності запису даних. Дослідження проводили з додатковим об'єктивом, що дозволяв нам змінювати фокусну відстань.



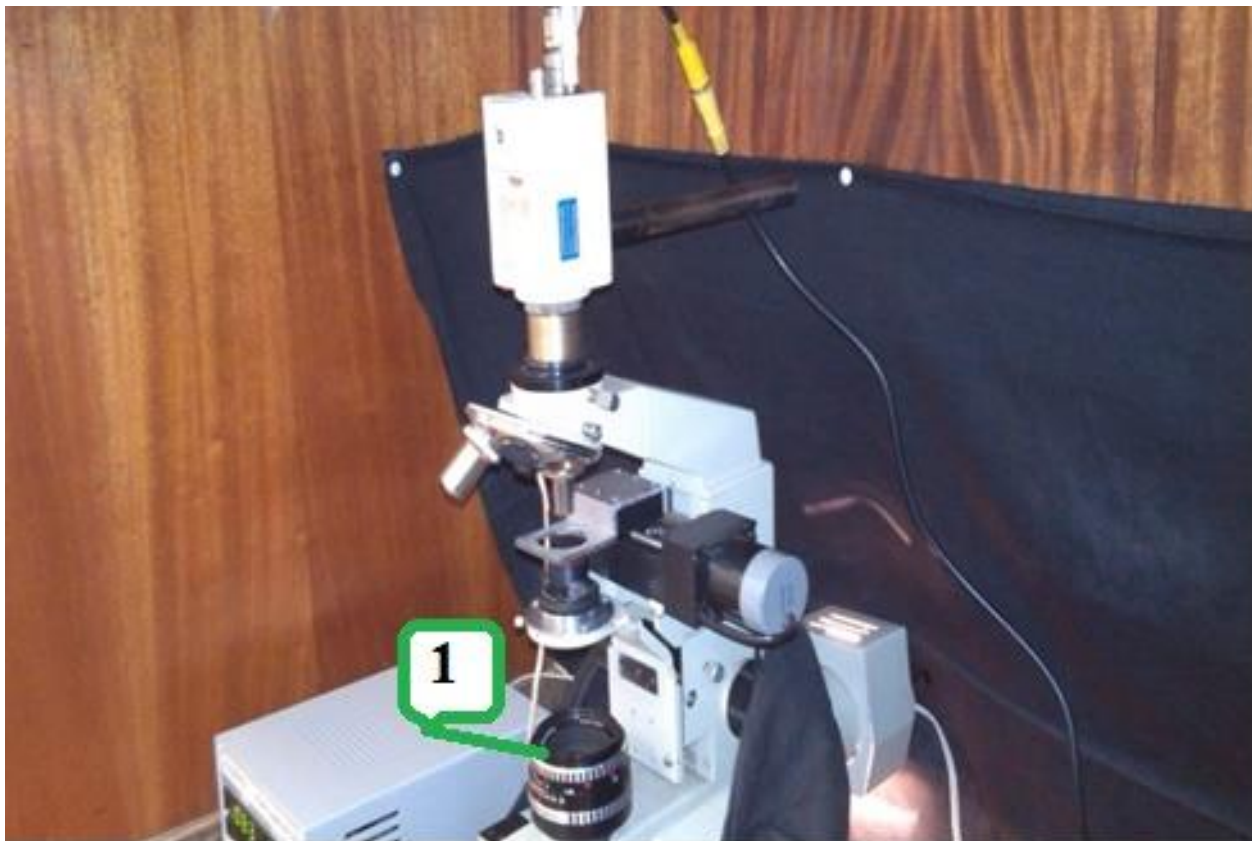


Рисунок 2.8 – ОЕВС при дослідженні матриці камери

Програмне забезпечення Owl Eye дозволило нам зчитувати данні випромінювання з кожного пікселя, обробку даних та побудову матриці з відображенням отриманої інформації в кожному пікселі проводили у програмі Excel. Графічні зображення наведено нижче у пояснювальній записці до дипломного проекту бакалавра. Ми наведемо два зображення при різних показниках фокусної відстані, а саме, 1,8 та 2,8.

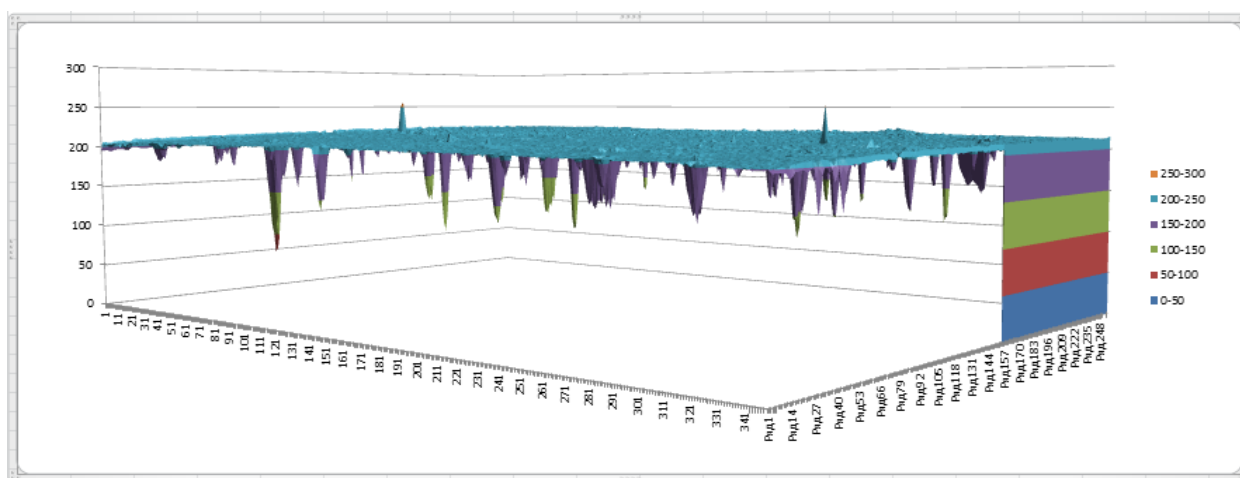


Рисунок 2.9 – Об'ємне зображення освітленості на матриці (фокусна відстань об'єктиву при вимірюванні 1,8)

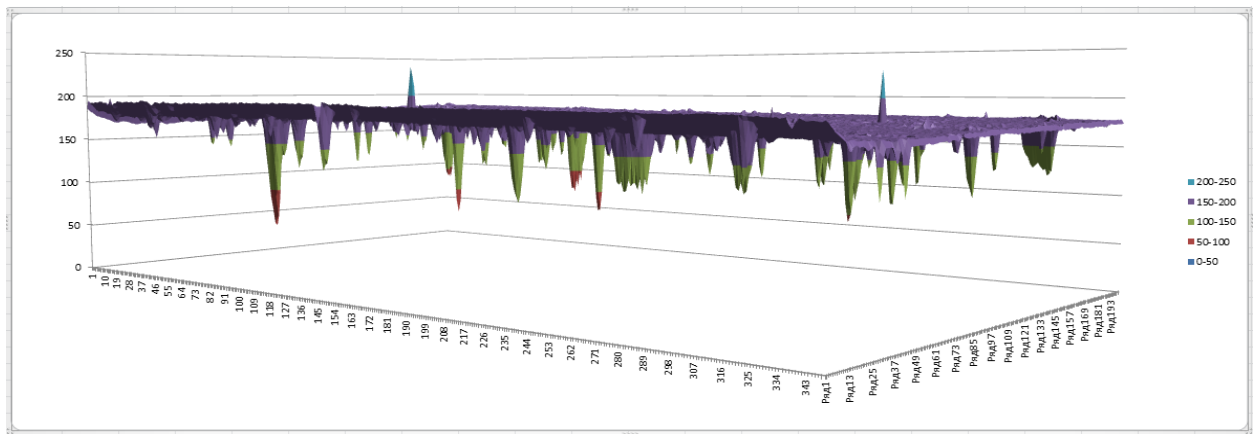


Рисунок 2.10 – Об’ємне зображення освітленості на матриці (фокусна відстань об’єктиву при вимірюванні 2,8)

Ми обрали ці два показники фокусної відстані, щоб дослідити зміну освітленості на матриці при зниженні рівня світлового потоку на матрицю. Отримані графічні зображення дали нам повну інформацію про рівень пробіїв та їх координатні дані. Ми могли визначити на якому пікселі є пробіїв. Аналіз найбільших масивів з пробоями дозволив нам у майбутньому уникати цих пікселів, а проводити вимірювання на цілій частині матриці.

Оскільки наш метод був новим для нас ми вирішили у підтвердження отриманих результатів щодо освітленості матриці, виконати ще одне експериментальне дослідження освітленості. Додаткові дослідження проводили у два способи: люксометром, що був на кафедрі, наново спроектованим фотометром, електрична схема якого представлена нижче.

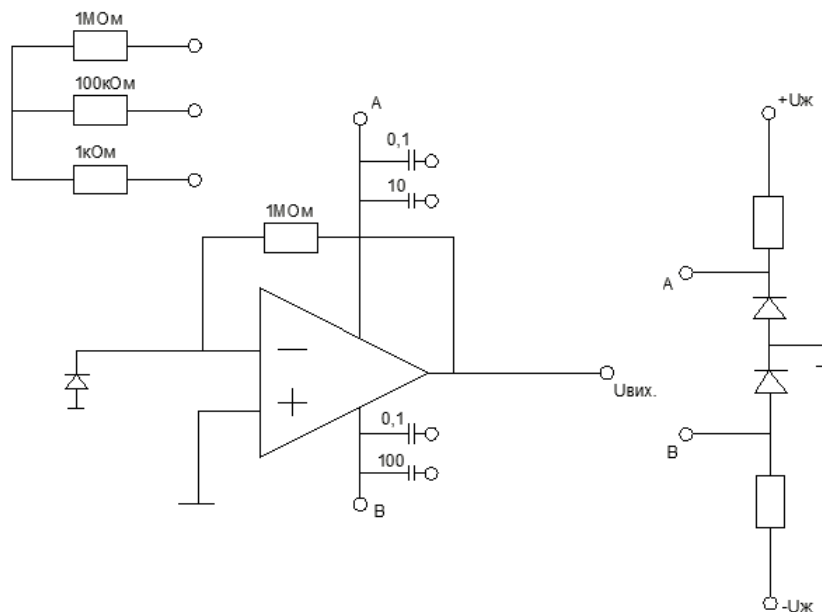


Рисунок 2.11 – Електрична схема наново спроектованого фотометром

Отже, розглянемо результати експериментальних досліджень, що було проведено у ці додаткові два способи.

#### 2.4.2 Вимірювання освітленості вимірювальної системи фотометром

Нами було спроектовано фотометр для визначення рівня та рівномірності розподілу освітленості на об'єкті дослідження шорсткості. Загальний вигляд оптико-електронної вимірювальної системи з конструкцією ново спроектованого фотометру наведено нижче.

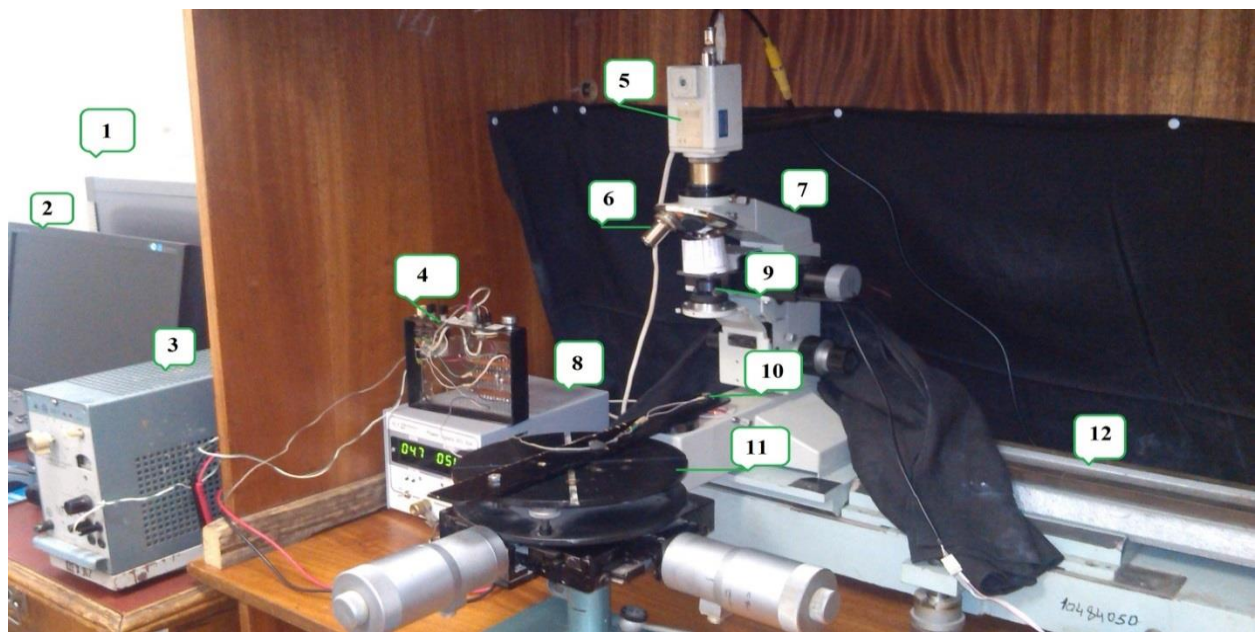


Рисунок 2.12 – Вимірювальний стенд фотометру з ОЕВС

1 – ПК з ПЗ; 2 – монітор; 3 – блок живлення фотометру; 4 – фотометр; 5 – камера; 6 – об'єктив; 7 – мікроскоп; 8 – блок живлення освітлювальної системи; 9 – світлофільтр; 10 – фотодіод; 11 – двокоординатна оптична лава; 12 – оптична лава

Чутливий елемент, що вимірював освітленість мав розміри  $S=2 \times 2$  мм. Конструкцію фотометру було зафіксовано на двокоординатній оптичній лаві, що дозволяла рух фотометру відносно загальної конструкції оптико-електронної вимірювальної системи по координаті  $x$  та координаті  $y$ . Фотодіод сканував показники освітленості над отвором, що обмежує потік освітлення конструкції вузла освітлення. Джерело живлення фотодіоду мало напругу 30 В постійного струму. У якості джерела випромінювання світлового потоку ми використовували стандартну лампу, що була в комплекті до вузла освітлення

оптичного мікроскопу, й жила від 4,8 В та 5 А. Робочий режим для даної лампи настає після 20 хвилин прогрівання ( роботи). Ми зазначали вище у пояснювальній записці це як недолік джерела освітлення, тому таким чином усуваємо його. Після витримання 20 хвилин лампа виходить на режим стабільності світло-технічних характеристик. Результати дослідження фотометром щодо освітленості ми отримуємо з вольтметра. Тобто вихідним сигналом є напруга. Отже існує необхідність переведу вольт у люкси, для цього скористаємось формулою:

$$\Phi_v = \frac{1}{683} \times P \times \lambda_m,$$

$$P = U \times I = 4,8 \times 5 = 24 \text{ Вт},$$

$\Phi_v$  – світловий потік (Лм),

$P$  – потужність (Вт);

$\lambda_m$  – довжина хвилі світлофільтру  $\lambda_m = 632,8 \text{ нм}$ ,

$U$  – напруга (В)  $U = 4,8 \text{ В}$ ;

$I$  – постійний струм освітлювальної системи  $I = 5 \text{ А}$ .

$$\Phi_v = \frac{1}{683} \times P \times \lambda_m = \frac{1}{683} \times 24 \times 632,8 = \frac{15187,2}{683} = 22,236$$

Визначимо освітленість підставивши отримані дані у формулу наведену нижче

$$L = \frac{\Phi_v}{S},$$

де  $L$  – освітленість,

$S$  – площа приймання світлового потоку фотодіоду  $S = 4 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ .

$$L = \frac{\Phi_v}{S} = \frac{22,236 \text{ Вт}}{4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = \frac{22,236 \cdot 10^6 \text{ Вт}}{4 \cdot \text{м}^2} = 5,559 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Експериментальні дослідження проводили по осі  $x$ , з обраного кута у напрямку непросканованої площини отвору, з якого надходить світловий потік. По завершенню першого сканування по осі  $x$ , ми переходимо по осі  $y$  на одну ступінь та повторюємо сканування даних випромінювання. Ві результати записуємо. За отриманими даними було побудовано об'ємне зображення розподілу освітленості з застосуванням Excel, що наведено нижче.

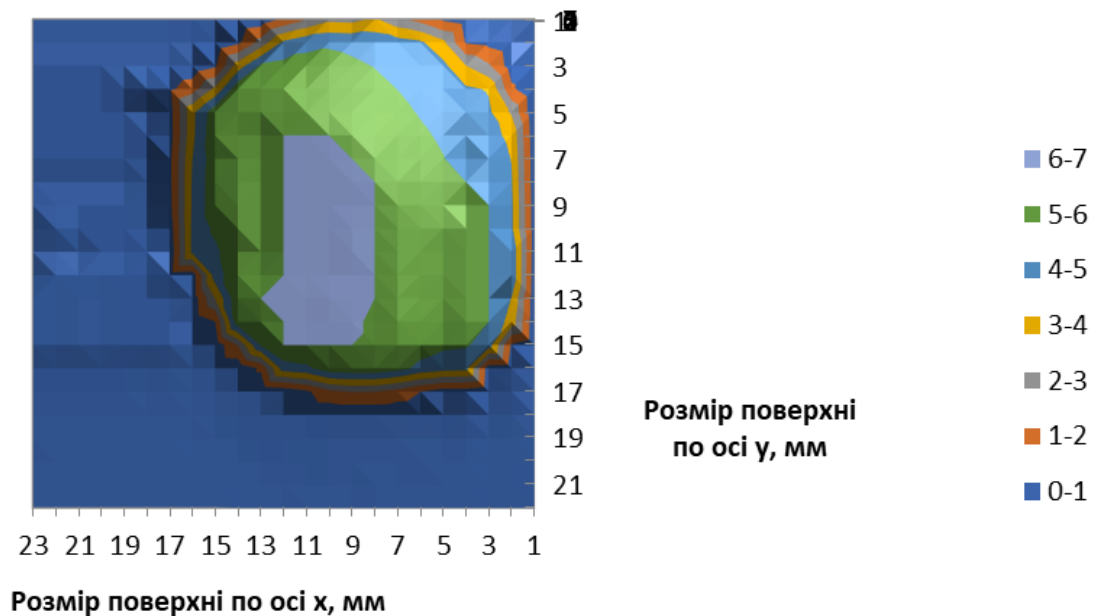


Рисунок 2.13 – Результат сканування освітленості об'єкту

Як видно з даного об'ємного зображення освітленості об'єкту, розподіл не є рівномірним. І освітленість має характер зміщення у ліву частину інтенсивності розподілу та зниження рівня інтенсивності ближче до країв отвору, з якого надходить випромінювання світла від лампи.

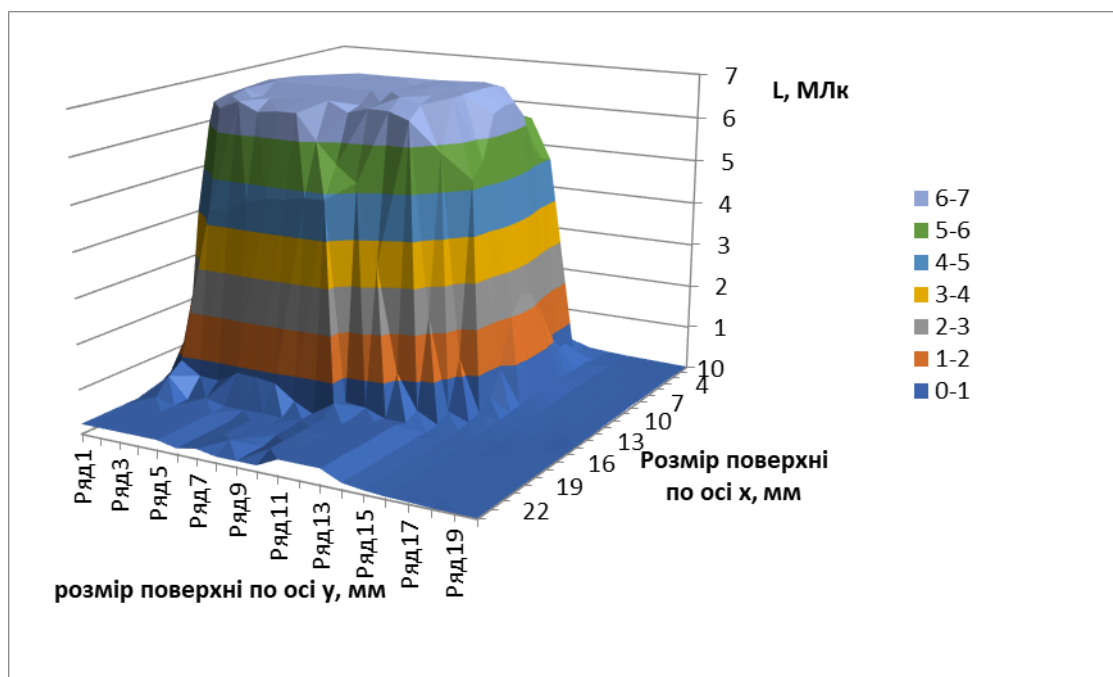


Рисунок 2.14 – Результат сканування освітленості об'єкту

За отриманих зображень освітленості об'єкту дослідження можемо рекомендувати проводити дослідження ближче до центру та показників з найвищою інтенсивністю. А іноді краще проводити вимірювання при

однаковому полі освітленості, так буде можливим уникнути похибки нерівномірності освітлення об'єкту.

#### 2.4.3 Вимірювання освітленості вимірювальної системи люксометром

Як додаткове дослідження освітленості об'єкту проведемо вимірювання люксометром. Даний прилад є готовим приладом, що мав серійний випуск. І також важливою перевагою при виборі даного люксометру, стала його наявність у лабораторіях кафедри і нам не потрібно шукати інший люксометр. А оскільки наше вимірювання є додатковим для порівняння отриманих результаті, тоді можемо скористатись і цим засобом вимірювання. Люксометр має чутливий елемент, що виготовлено з селену та працює за принципом поглинання світлової енергії  $E$ , що на виході перетворюється в електричний сигнал. Результати вимірювання освітленості вимірюємо в люксах.

Таблиця 2.2 – Результати дослідження освітленості

№	Е, мЛк	№	Е, мЛк	№	Е, мЛк	№	Е, мЛк
1	8,9	11	6,8	21	7,5	31	7,9
2	9,2	12	7,5	22	6,8	32	9,6
3	7,5	13	7	23	7,1	33	9
4	8,9	14	8,8	24	9,6	34	8,7
5	9	15	7,1	25	8,9	35	5,9
6	9,7	16	9	26	7,5	36	7,5
7	9,6	17	7,5	27	5,5	37	9,2
8	9	18	9,8	28	7	38	8,8
9	5,5	19	7	29	8,8	39	7,1
10	7	20	5,5	30	9,2	40	8,9

За табличними даними було побудовано графічне зображення освітленості об'єкту вимірювання, графік наведено нижче. Хочемо зазначити, що дане дослідження хоч і більш простим, однак результат дослідження є малоінформативним. За цим графіком можна тільки приблизно визначати освітленість



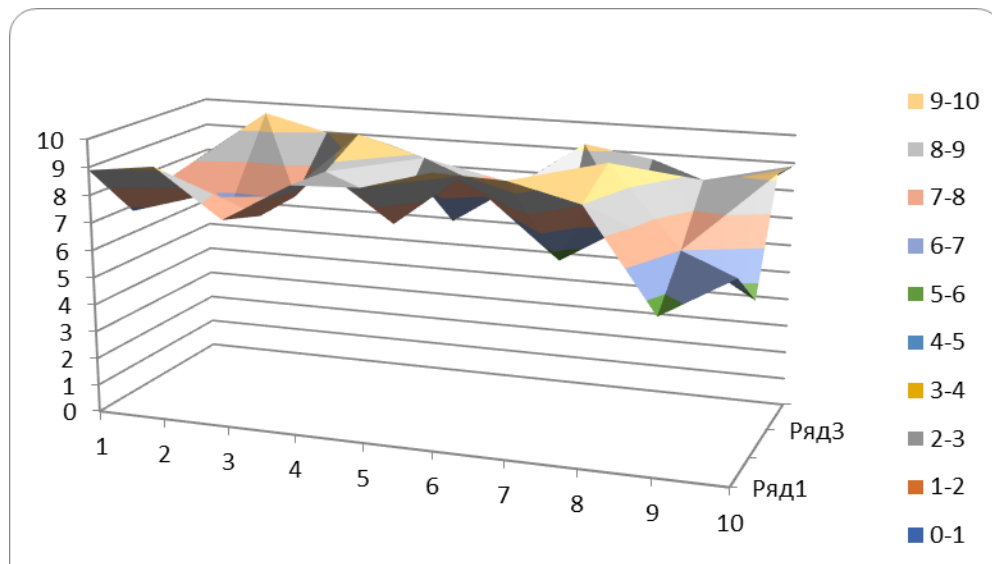


Рисунок 2.15 – Результат сканування освітленості об’єкту люксометром

Аналіз результатів графічного зображення розподілу освітленості показує різку зміну. Такий результат пояснимо наступним: точність люксометру за технічним паспортом дорівнює 10 %, розміри сенсору люксометру менші у порівнянні з попиксельним скануванням освітленості. Такий результат є неінформативним.

## 2.6 Вибір тестових об’єктів

У технічному завданні до дипломного проекту було записано пункт щодо вибору тестових об’єктів для визначення класу шорсткості. Оскільки, за назвою диплому та завданням прописано об’єкт дослідження, тоді ми маємо проводити вибір в межах оптичних деталей, щоб відповідати всім вимогам. Оберемо оптичні тестові об’єкти, що не покриті додатковим шаром, що змінює властивості поглинання та відбиття об’єкту вимірювання. Тому ми оберемо класичні деталі оптичного приладобудування, а саме, оптичні шліфовані лінзи товщиною об’єктів 2,5 мм, 3 мм, 3,5 мм, 4 мм й 4,5 мм. Дослідження похибки вимірювання може показати динаміку зростання похибки від товщини оптичної деталі та чи взагалі товщина лінзи впливає на точність. Хочемо зазначити, що при дослідженні лінзи товщиною у 4,5 мм, випромінювання на виході з лінзи було нижче ніж у попередніх дослідних зразках. Оскільки ми будемо проводити вимірювання класу шорсткості за визначення геометричних розмірів зерен

шліфування або іншої обробки, а вже за середнім показником геометричних розмірів зерен будемо визначати якому класу шорсткості відповідає даний вид покриття. Для метрологічного контролю правильності вимірювань геометричних параметрів зерен, ми обрали еталонну міру мікрометричного діапазону.

## 2.7 Розробка методики дослідження класу шорсткості по геометричним розмірам

Як ми вже зазначали раніше, для проведення дослідження класу шорсткості оптичних поверхонь нам необхідний набір штрихових еталонних мір, зображення яких наведено нижче. Геометричні параметри штрихової міри наступні: розміри чорного штриха та білого рівні, міра має 25 полів, яким притаманний один розмір штрихів. Розміри визначаємо за ГОСТом для цього набору мір.

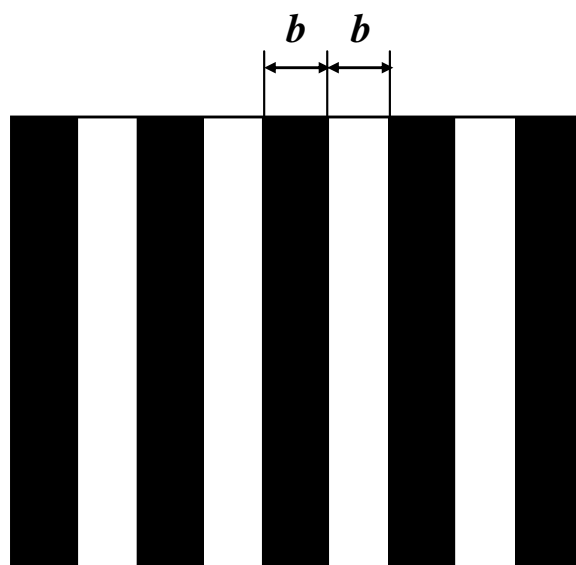


Рисунок 2.16 –Штрихова міра

Геометричні розміри штрихів міри ми обирали виходячи з основних параметрів, що відповідають шорсткості. Розглянемо які розміри відповідають яким полям комплекту мір, що ми обрали. ГОСТ комплекту міри -ГОСТ15114-78. Розглянемо за таблицею нижче, в якій зазначено якому виду обробки відповідають розміри зерна. Оскільки ми працюємо з оптичними деталями, а саме лінзами, для них застосовується наступні види обробок: полірування та шліфування.



Значение класса и параметра шероховатости для различных видов поверхности														
Классы шероховатости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R <sub>a</sub> мкм	80-40	40-20	20-10	10-5	5-2.5	2.5-1.25	1.26-0.63	0.63-0.32	0.32-0.16	0.16-0.08	0.08-0.04	0.04-0.02	0.02-0.01	0.01-0.008
R <sub>z</sub> мкм	320-160	160-80	80-40	40-20	20-10	10-6.3	6.3-3.2	3.2-2.6	2.6-0.8	0.8-0.4	0.4-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05-0.25
Базовая длина, мм	8		2.5			0.8			0.25			0.08		
достигаемый при данном способе изготовления класс шероховатости														
отливание	✓	✓	✓											
шабрение							✓	✓	✓					
сверление			✓	✓	✓	✓								
строгание	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
развертывание							✓	✓	✓					
точение	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
фрезерование		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
протягивание						✓	✓	✓	✓	✓				
шлифование						✓	✓	✓	✓	✓				
притирка								✓	✓	✓	✓	✓	✓	
хонингование								✓	✓	✓	✓	✓		
прокат					✓	✓	✓	✓	✓					
литье в кокиль	✓	✓	✓	✓										
литье под давлением		✓	✓	✓	✓	✓	✓							

Для шліфування геометричні розміри зерен поверхні, що обробляються, відповідають діапазону розмірів за параметром  $R_a$  (2,5 - 1,25 мкм) та  $R_z$  (10 - 6,3 мкм). За нашою методикою ми розуміємо, що нашим діам відповідає параметр середньоарифметичного вимірювання класу шорсткості. Хоча не виключаємо, що при необхідності або якщо не буде виходити вимірювати середньоарифметичне значення шорсткості та за ним визначати клас шорсткості ми будемо визначати шорсткість за параметром  $R_z$ . А от параметри полірування взагалі недосяжні для нашої оптико-електронної вимірювальної системи. Її потрібно значно вдосконалювати та використовувати оптичний мікроскоп з більшим показником збільшення та камеру, що має роздільну здатність значно вищу, а ніж у камери яку використовуємо зараз.

Параметрам  $R_a$  (2,5 - 1,25 мкм) та  $R_z$  (10 - 6,3 мкм) відповідають геометричні розміри міри № 3, поле № 25 (10 мкм) та геометричні розміри міри № 2, поле № 21 (6,3 мкм) та геометричні розміри міри № 2, поле № 18 (7,5 мкм). Такий вибір є обґрунтованим та відповідає межах геометричних розмір зерна при шліфуванні.

Методика вимірювання наступна. Для закріплення та зміни штрихових мір використовуємо спеціалізований кронштейн з циліндричними отворами під

розмір штрихової міри. При вимірюванні геометричних розмірів, за якими у майбутньому будемо визначати клас шорсткості, необхідно контролювати розміщення об'єкту дослідження по центру. Оскільки, як ми визначали найбільша рівномірність освітлення полягає у центрі зі зміщенням вліво. І це необхідно враховувати. Зображення міри (для забезпечення еталону) розміщено у фокальній площині об'єктиву вимірювальної системи і виводиться на монітор ПК з спеціалізованим програмним забезпеченням, що здатне за випромінюванням оцінити параметри об'єкту дослідження (OWLEYE). Отже розпочинаємо наше вимірювання з тестовим об'єктом. Для цього розміщуємо тестовий об'єкт (міру) на предметному столику нашої оптико-електронної вимірювальної системи. Виставляємо фокусну відстань.

З використанням зазначеного програмного забезпечення ми отримуємо розподіл сигналу по поверхні обраного поля міри. Маркер виставляємо по середині штрихів міри. Це робимо для проведення пробного вимірювання. Отримані результати (геометричні розміри) поля штрихової міри майже дорівнюють показникам поля міри за ГОСТ. Похибка вимірювання складає 3,6%. Після цього вимірювання переходимо до наших об'єктів дослідження, а саме, для оптичних лінз.

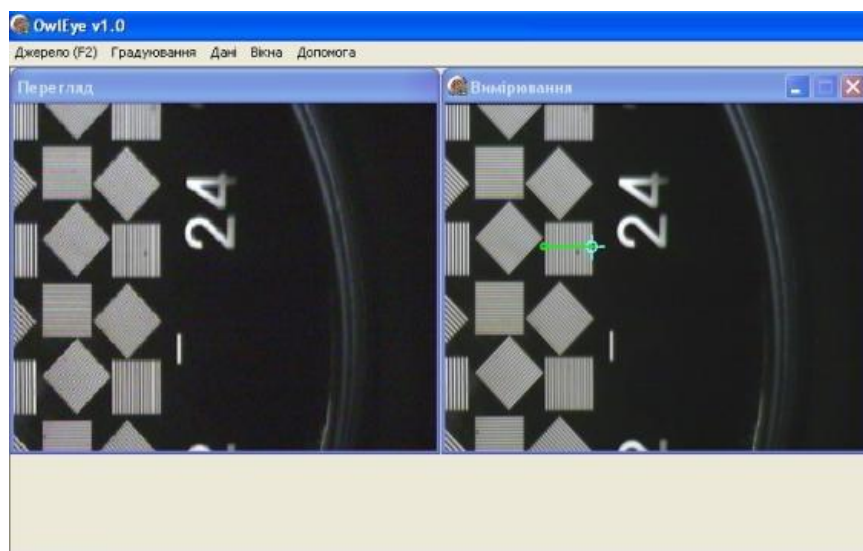


Рисунок 2.17 – Зображення поля міри у програмі

Ми постійно ведемо запис даних середньоквадратичного відхилення та даних геометричних розмірів поля міри.

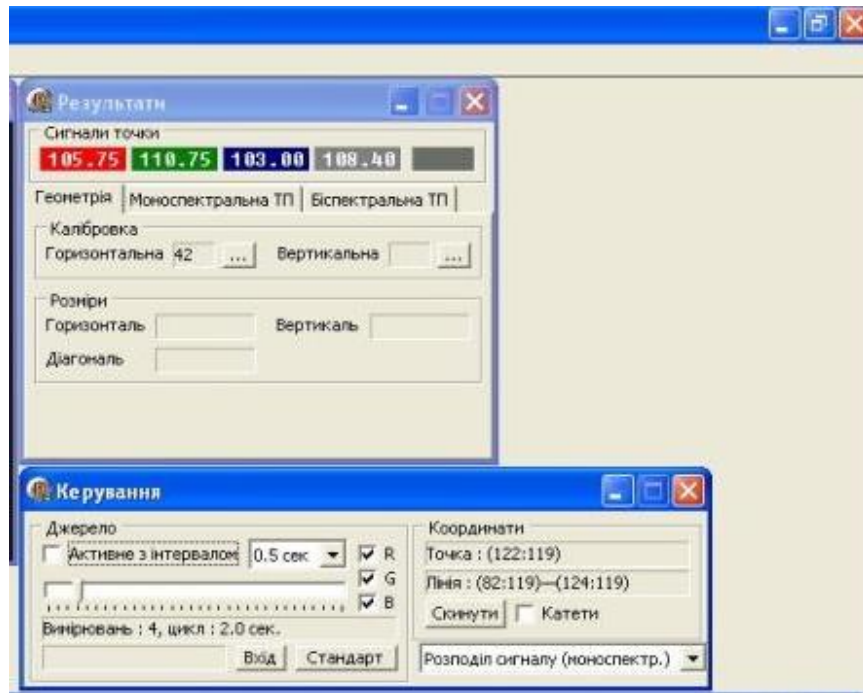


Рисунок 2.18 – Зображення поля міри у програмі

Розпочнемо вимірювання геометричних параметрів шорсткості за геометричними розмірами зерен оптичної поверхні. Розміщуємо оптичну лінзу на предметний столик, наводимо фокусування при необхідності, отримуємо та записуємо зображення шліфованої лінзи на монітор та у програмному забезпеченні отримуємо масив даних .

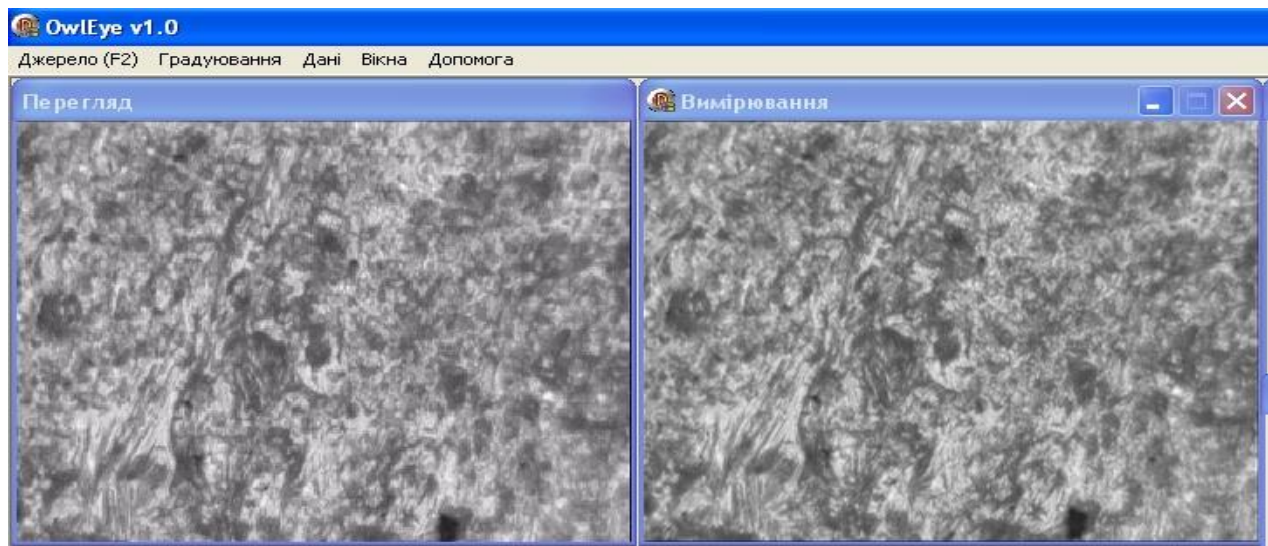


Рисунок 2.19 – Зображення шліфованої лінзи

Програмне забезпечення, що ми обрали, дозволяє нам проводити вимірювання ширини штрихів, це є якості еталонного зразка, та вимірювати ширину та довжину зерна оптичної поверхні. Зображення, що ми отримали не має чіткого контуру зерен, що ми могли б отримати з застосуванням

металографічного мікроскопу. Проте, це наша перша розробка і напевно вже вдосконалену конструкцію даної оптико-електронної вимірювальної системи ми зможе отримати при написанні магістерської дисертації, ґрунтуючись на знаннях отриманих при написанні дипломної роботи бакалавра. Отриманні результати ми занесли до таблиці. Вимірювань проводили по 40, щоб забезпечити ймовірність вимірювання у 95 %. Такий показник ми отримали з формули для визначення мінімальної кількості вимірювань  $n_{\min}=2/1-P=2/1-0,95=40$ .

Як ми вже зазначали для роботи з еталоном ширина білих штрихів дорівнює ширині чорних і дорівнює в формулі наведеній нижче  $p$ . Дана формула дозволяє визначити дійсний показник ширини штриха. Отже, запишемо формулу для розрахунку середнього показника ширини штриха  $L_{cp, px}$

$$L_{cp, px} = \sum \frac{L_{1, px} + L_{2, px} + \dots + L_{N, px}}{N}, \quad (2.9)$$

Хочемо зазначити, що одиницею визначеного дійсного показника ширини штриха є піксель. Тому у майбутньому для отримання значення у розмірності світової класифікації розмірностей, ми повинні скористатись наступною формулою, що дозволить нам перевести отримане значення з пікселя у мікрометри, адже ми знаємо розмір пікселя у мікрометрах.

$$L = L_{cp, px} \times L_{px} \times \Gamma, \quad (2.10)$$

де  $L_{px}$  - ширини пікселя;

$\Gamma$  - збільшення об'єктиву оптико-електронної вимірювальної системи.

Для розрахунку відносної похибки вимірювання ширини та довжини (геометричних розмірів) зерен шорохуватої оптичної поверхні, ми повинні скористатись формулою, що наведено нижче

$$\Delta = \frac{L' - L}{L} \times 100\%, \quad (2.11)$$

де  $L'$  - еталонний розмір;

$L$  - розмір, що визначено вимірювальною системою.

Таблиця 2.2 – Показники дійсних розмірів штрихів

Значення\поле №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L <sub>ср</sub> , рх	5,50	5,04	4,76	4,39	4,27	4,14	3,87	3,67	3,39	3,16	2,91	2,96
L еталон, мкм	20,00	18,90	17,80	16,80	15,90	15,00	14,10	13,30	12,60	11,90	11,20	10,60
Збільшення об'єктиву	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
L 1рх, мкм	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
L, мкм	20,35	18,64	17,63	16,24	15,79	15,33	14,33	13,56	12,54	11,68	10,79	10,96
Похибка, $\delta$ , %	1,77	1,40	0,96	3,36	0,72	2,17	1,60	1,98	0,50	1,87	3,71	3,36

Таблиця 2.3 – Показники дійсних розмірів штрихів

Значення\поле №	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
L <sub>ср</sub> , рх	2,80	2,50	2,34	2,23	2,07	1,95	1,88	1,68	1,74	1,50	1,59	1,36	1,35
L еталон, мкм	10,00	9,40	8,90	8,40	7,90	7,50	7,10	6,70	6,30	5,90	5,60	5,30	5,00
Збільшення об'єктиву	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
L 1рх, мкм	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
L, мкм	10,35	9,26	8,65	8,23	7,64	7,23	6,95	6,22	6,46	5,57	5,87	5,04	5,01
Похибка, $\delta$ , %	3,50	1,53	2,78	1,98	3,27	3,58	2,05	7,23	2,48	5,64	4,88	4,95	0,24

Середня похибка, % 2,70

Показник визначення середнього значення геометричних розмірів еталонного зразка оптичної поверхні міри становить 2,7 %, тому вважаємо що спроектована оптико-вимірювальна система працює вірно. Отже, виконаємо аналогічні дії з нашими оптичними лінзами, для яких нам необхідно визначити клас шорсткості. Як ми вже зазначили, ми встановимо середнє значення геометричних розмірів зерен оптичної поверхні, після чого за цим значенням встановимо клас шорсткості, що відповідає виміряному. Не забуваємо проводити всі вимірювання при робочих діапазонах світлосигнальної характеристики та спектральної характеристики. Вимірювання проводимо зі збільшенням об'єктиву x 8, x10, x 20. Результати вимірювання споглядаємо у вікні програмного забезпечення.



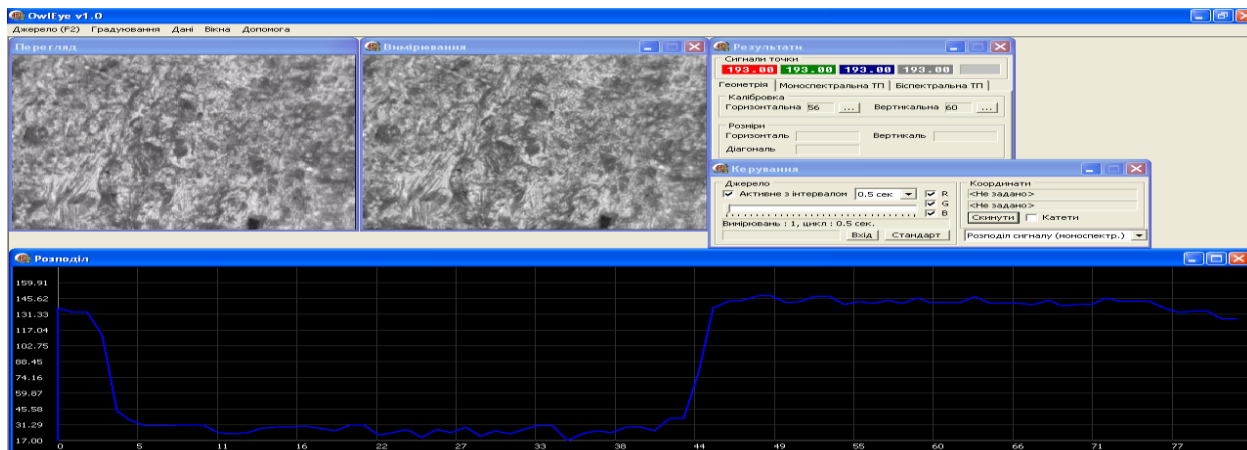


Рисунок 2.20 – Вікно програмного забезпечення з отриманими результатом одного вимірювання.

З рисунку видно чіткі топографічні зображення структури поверхні. З цього рельєфного рисунку визначимо геометричні розміри світлих і темних елементів зображень, а вже за середнім показником цих вимірювань отримаємо клас шорсткості, якому відповідають отриманні значення.

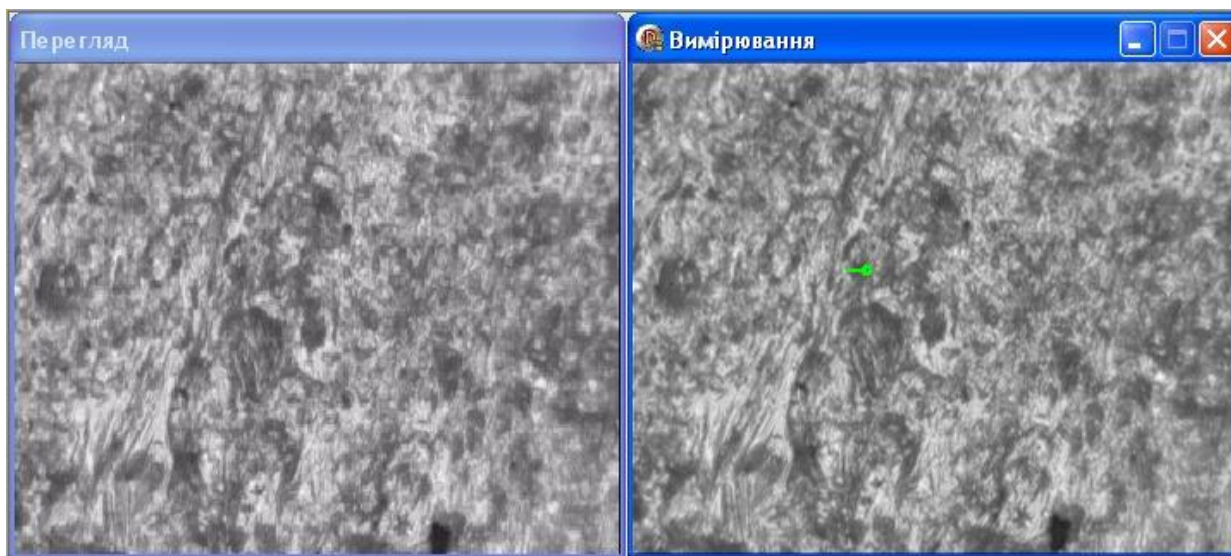


Рисунок 2.21 – Вікно програмного забезпечення з отриманими результатом одного вимірювання з зазначенням маркеру

Таблиця 2.4 – Результати експериментального визначення геометричних розмір новою спроектованою вимірювальною системою

Номер зерна поверхні	Ширина	Довжина
1	3	1
2	4	2
3	2	1
4	1	3
5	4	2
6	3	3

7	2	1
8	4	2
9	2	3
10	4	1
11	3	2
12	2	4
13	2	3
14	3	5
15	1	2
16	3	1
17	4	3
18	3	2
19	2	4
20	4	1
21	3	2
22	1	3
23	1	1
24	2	4
25	4	2
26	5	1
27	3	3
28	4	4
29	3	2
30	1	4
31	3	2
32	2	3
33	1	2
34	1	1
35	4	3
36	3	4
37	2	5
38	2	3
39	2	4
40	3	3
Сер. пікс.	2,65	2,55
мкм	9,805	9,435

Тепер ми маємо показник дійсного розміру геометричних розмірів зерен оптичної поверхні, що досліджувалась, тому визначимо якому класу шорсткості відповідає отриманий результат. Оскільки ми проводили вимірювання класу шорсткості за визначення геометричних розмірів зерен шліфування або іншої обробки, а вже за середнім показником геометричних розмірів зерен визначали якому класу шорсткості відповідає даний вид покриття. Хочемо зазначити, що

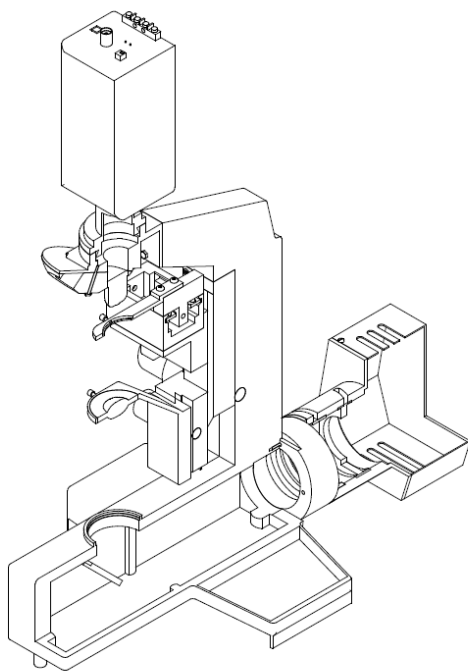
середньоарифметичне значення, що ми отримали не відповідає класу до якого занесено обробка при шліфуванні або при поліруванні, що є стандартними видами обробки для оптичних деталей. Як відомо, для шліфування геометричні розміри зерен поверхні, що обробляються, відповідають діапазону розмірів за параметром Ra (2,5 - 1,25 мкм) та Rz (10 - 6,3 мкм). Отриманий нами результат відповідає 4 класу шорсткості, з розмірами Ra 9,8 мкм при робочих для цього діапазону шорсткості (2,5 - 1,25 мкм) та Rz (10 - 6,3 мкм).



## 2.8 Складальне креслення оптико-електронної вимірювальної системи класу шорсткості, короткий опис конструкції

В дипломному проекті бакалавра спроектовано оптико-електронну вимірювальну систему класу шорсткості поверхні оптичних об'єктів. Хочемо зазначити, що ми до проектування даної системи підійшли інтегровано, такий спосіб набирає у світі все більшого поширення. За цим методом не потрібно спроектувати всі вузли від початку розробки, а можна скористатись виготовленими вузлами, поєднати їх у вимірювальну систему та надати їм нове вимірювальне життя. Наша вимірювальна система складається з виготовленого ще в радянські часи оптичного мікроскопу Біолам; телевізійної камери MINTRON мала масове виробництво, а нам для зібрання вимірювальної системи дуже згодилась, адже обрати щось з нових вимірювальних систем ми не в змозі, проте вона повністю задовольняє вимоги до технічного завдання до дипломного проекту; блоки живлення до камери та блоку освітлення мікроскопу в свої часи мали серійне виробництво. Тому, наша робота пов'язана з поєднанням всіх складових вузлів й налаштуванням системи. Клас шорсткості поверхні визначаємо за розміром зерна поверхні при 40 вимірюваннях й більше, що забезпечує ймовірність результату вимірювання від 95 відсотків й вище. Нижче наводимо об'ємне складальне креслення спроектованої оптико-електронної вимірювальної системи. Деталювання буде наведено у додатках до дипломного проекту.

Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5



				ПН000.001			
				Оптика-электронная система			
				Застольный выключатель			
				Акт		Итого	
				187		11	
				Акт		Акт	
				15Ф			
				Формат А3			

5/10/2016

## ВИСНОВОК

За технічним завданням до дипломного проекту було спроектувати оптико-електронну вимірювальну систему, щоб користувач міг автоматично з застосуванням програмного забезпечення та вимірювальної системи визначати клас шорсткості поверхні. У дипломі було проведено аналітичне дослідження методів визначення класу шорсткості. А саме, растровий метод, метод світлового та тіньового світіння, мікроінтерференційний метод та логарифмічний метод. Хочемо зазначити, що більшість методів визначення шорсткості об'єкту базується на методах оптичної мікроскопії. Тому для побудови вимірювальної системи визначення класу шорсткості поверхні ми обрали за основу оптичний метод. У роботі проведено аналітичний огляд приладів та систем аналогів для визначення шорсткості поверхні. А саме, ми розглянули пристрій для вимірювання оптичний прозорих об'єктів, пристрій для визначення шорсткості, профілометр, подвійний мікроскоп Лінника, мікроінтерферометр Лінника, станцію для контролю шорсткості і контуру поверхні Hommel Tester T8000 та вимірювач шорсткості поверхні MicroProf 200. Ми розглянули переваги та недоліки кожної з систем або приладів аналогів та визначились, що оберемо за основу для проектування власної вимірювальної системи.

Проектування власної системи ми розпочали з побудови структурної схеми вимірювальної системи та визначення складових вузлів. Було вибрано та обґрунтовано наступні вузли: камери з ПЗЗ матрицею, оптична система або пристрій, світлові фільтри, джерело живлення, джерело освітлення, програма для захоплення відеозображення. На основі цих вузлів спроектовано лабораторний стенд оптико-електронної вимірювальної системи класу шорсткості поверхні. Перед початком вимірювання, нами виконано експериментальні дослідження характеристик вимірювального стенду (оптико-електронної системи), а саме, дослідження світлосигнальної характеристики та спектральної характеристики.

У дипломному проекті проведено аналіз вимог для точності вимірювання

оптико-електронною вимірювальною системою. Виконано розрахунок енергетичної освітленості поверхні об'єкту дослідження, тобто поверхні для якої визначаємо клас шорсткості. Експериментальним шляхом досліджено освітленість поверхні об'єкту вимірювання у два різні способи (з застосуванням фотометру та з застосуванням люксметру). Фотометр ми спроектували та зібрали власноруч, а от люксметр ми обрали для вимірювання готовим до вимірювання. Після чого отримані експериментальним шляхом результати освітленості поверхні об'єкту дослідження ми порівняли.

У дипломній роботі бакалавра ми виконали підбір та обґрунтування об'єктів, що будемо використовувати у якості тестових. Ми зазначили, що для забезпечення правильної роботи та підтвердження цього факту ми обрали еталонний тест -об'єкт мікрометричного розміру, а саме штрихову міру за ГОСТ. На спроектованому лабораторному варіанті оптико-електронної вимірювальної системи ми провели ряд досліджень з зразком (скло з шорохуватою поверхнею). Ми прописали методику дослідження та визначення класу шорсткості поверхні, що проробили експериментальним шляхом та навели результати цих досліджень у дипломній роботі.

До дипломного проекту було виконано пакет креслень згідно до технічного завдання дипломного проекту бакалавра.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коротаев В.В., Краснящих А.В. Телевизионные измерительные системы Санкт – Петербург: 2008. – 110 е.: ил.
2. Власов А.И., Елсуков К.А., Косолапов И.А. Оптическая микроскопия Москва: 2011. – 182 е.: ил.
3. Приборы для контроля шероховатости, волнистости и контура профиля поверхности.
4. Александров В.К., Биенко Ю.Н., Ильин В.Н. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микрообъектов. Минск: Наука и техника, 1988. - 240 е.: ил.
5. Арефьев А.А., Фотиев Ю.А. Контроль капилляров методами измерения фокусных расстояний и увеличения // Световоды и их применение: 5-я научная конф.: Докл., 19 -21 января 1995 г. Бяловежа, Польша, 1995. - С. 6 - 12.
6. <http://imageops.com/security-solutions/Mintron-Quality-CCD-Cameras/black-white-cameras/MS-168L.html>
7. Арефьев А.А., Фотиев Ю.А. Производственный контроль волоконно-оптических пластин // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: 9-я научно-техническая конференция: Докл., 24 26 ноября 1992 г. - М.: ВНИИОФИ, 1992. - С. 101.
8. Афанасьев В.А. Оптические измерения. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981. -229 е.: ил.
9. Боровиков В.А. Дифракция на многоугольниках и многогранниках. М.: Наука, 1966. -456. е.: ил.
10. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. М.: Связь, 1978.-248 е.: ил.
11. Варшавер Г.А., Герасимов В.Г. О применении емкостного датчика для контроля геометрических размеров // Приборостроение. Известия вузов. - 1960-№11-С. 5-8.
12. Васильев Л.А. Теневые методы. М.: Наука, 1968. -400 е.: ил.

13. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. 2-е изд., перераб. и доп. - Л., Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1977. - 320 е.: ил.
14. Волоконные элементы для электронно-оптического приборостроения / Э.Ю. Бессонова, З.И. Канчиев, А.В. Клепикова и др.// Оптический журнал. -1992.-№11.-С. 37-41.
15. <http://kirensky.ru/ru/institute/labs/lms/ramansp>
16. Вычислительная оптика: Справочник/ М.М. Русинов, А.П. Грамматин, П.Д. Иванов и др.; Под. общ. ред. М.М. Русинова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984-423 е.: ил.
17. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989.-504 е.: ил.
18. Герасимов В.Г. Электромагнитный контроль однослойных и многослойных изделий. М.: Энергия, 1972 - 160 е.: ил.
19. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.Н. Теория оптических систем. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. - 448 е.: ил.
20. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов М.: Логос, 2000. - 584 е.: ил.
21. Изнар А.Н. Электронно-оптические приборы,- М.: Машиностроение, 1977- 264 е.: ил.
22. Илюхин В.А., Фотиев Ю.А. Датчики для контроля капилляров: аппаратура и эксперимент// Световоды и их применение: 5-я научная конф.: Докл., 19 21 января 1995 г. - Бяловежа, Польша, 1995. - С. 13 - 19.
23. Илюхин В.А., Фотиев Ю.А. Контроль стеклянных трубок во время вытяжки // Использование волоконных световодов: 4-я научная конф.: Докл., 16 -18 января 1992 г. Бяловежа, Польша, 1992. - С. 53 - 55.
24. Капани И.С. Волоконная оптика. Принципы и применения: Пер. с англ./ Под ред. В.Б. Вейнберга и Д.К. Саттарова- М.: Мир, 1969. 464 е.: ил.
25. Кеткович А.А., Мировицкая С.Д. Теневые измерители линейных размеров объектов /У Измерительная техника. 1986. - № 8. - С. 19-20.- 9638. Климков Ю.М. Основы расчета оптико-электронных приборов с лазерами. М.: Сов. Радио, 1978. - 264 е.: ил.

26. Креопалова Г.В., Пуряев Д.Т. Исследование и контроль оптических систем. М.: Машиностроение, 1978. -224 е.: ил.
27. Маслюков Ю.С. Определение предельных погрешностей измерительных систем с преобразователями на приборах с зарядовой связью// Оптико-механическая промышленность. 1990. - №4. - С. 70 - 73.
28. Мировицкая С.Д., Тихомиров В.Н. Гибридный дифракционно-теневой метод измерения цилиндрических полых объектов // Дефектоскопия 1985 -№11-С. 69-74.
29. Мировицкая С.Д., Тихомиров В.Н. Прибор для теневого контроля оптических капилляров // Светотехника. 1985. - № 11 - С. 12-13.
30. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983.-696 с: ил.
31. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 332 с: ил.
32. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.-304 е.: ил.
33. Печерская К.П., Саттаров Д.К., Соколов А.К. Особенности определения поперечных размеров коаксиальных цилиндрических объектов// Оптико-механическая промышленность. 1985. - №11. - С. 45-47.
34. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий // Под. ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1982. - 426 с.
35. Прикладная оптика: Учеб. для оптических специальностей вузов/ М.И. Апенко, А.С. Дубовик, Г.В. Дурейко и др.; Под общ. ред. А.С. Дубовика. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. -480 е.: ил.
36. Проектирование оптико-электронных приборов. / Ю.Б. Парвулюсов, С.А. Родионов, В.П. Солдатов и др.; Под ред. Ю.Г. Якушенкова. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 2000. - 488 е.: ил.

37. Работы ГОИ по волоконной оптике/Г.Т. Петровский, В.И. Васильева, С.В. Данилов и др.// Оптический журнал. 1999. Т. 66. - №3. - С. 3 - 14.

38. Трофимова Л.С., Саттаров Д.К. О частотно-контрастной характеристике волоконно-оптических элементов.// Оптико-механическая промышленность. 1971. - № 10. - С. 9-10.

39. Фотиев Ю.А. Устройство контроля внутреннего диаметра капилляров //

40. Датчики электрических и неэлектрических величин ( «Датчик-93» ): 1-я Международная конф.: Докл., 23 25 июня 1993 г. - Барнаул: Алт ГТУ, 1993. -4.2.-С. 111-112.

41. Харазов В.Г. Управление высокотемпературными процессами с помощью ЭВМ в промышленности строительных материалов. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. -320 е.: ил.

42. Чео П.К. Волоконная оптика: Приборы и системы: Пер. с англ. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -280 е.: ил.

43. Шульман М.Я. Измерение передаточных функций оптических систем. -Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 208 с: ил.

44. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 1999. - 480 е.: ил.

45. А.с. 510641, СССР, МКИ G01 B11/10. Проекционный способ измерения линейных размеров стеклянной трубки/ Ю.Б. Зайков. Оpubл. 1976, Бюл. №14.

46. А.с. 1384938 AI, СССР, МКИ G01 B11/02. Способ измерения геометрических размеров прозрачных трубок / А.А.Бондарев, Б.Ф.Васьков и др. -Оpubл. 1988, Бюл. № 127.

47. А.с. 1348638 AI, СССР, МКИ G01 B11/06. Устройство для измерения толщины стенок прозрачных труб / Г.А.Линденбург, М.П.Никонов, М.М.Хейфец. Оpubл. 1987, Бюл. №40.



48. А.с. 1585670 СССР, МКИ 4 G 01 В 11 / 06. Способ измерения толщины стенки прозрачных труб и устройство для его осуществления / М.П. Никонов, М.М. Хейфец-Опубл. 15.08.1990, Бюл. № 30. -4 е.: 3 ил.

49. А.с. 977945, СССР, МКИ G01 B11/06. Способ измерения линейных размеров стеклянной трубки / В.П.Лисенков, Е.И.Сачук, В.Ф.Старостин. - Опубл. 1982, Бюл. № 44.

50. А.с. 1423915 АІ, СССР, МКИ G01 B11/08. Способ контроля геометрических параметров стеклянных капилляров в процессе вытяжки /О.М.Венцовский, В.Ф.Гришко и др. Опубл. 1988, Бюл. № 34.

51. А.с. 1522029 СССР, МКИ G 01 В 11 /08. Способ измерения толщины стенки прозрачных труб и устройство для его осуществления / Н.И. Евсеен-ко, Е.Г. Попов, С.Л. Медник Опубл. 15.11.1989, Бюл. №42.-4 е.: 3 ил.

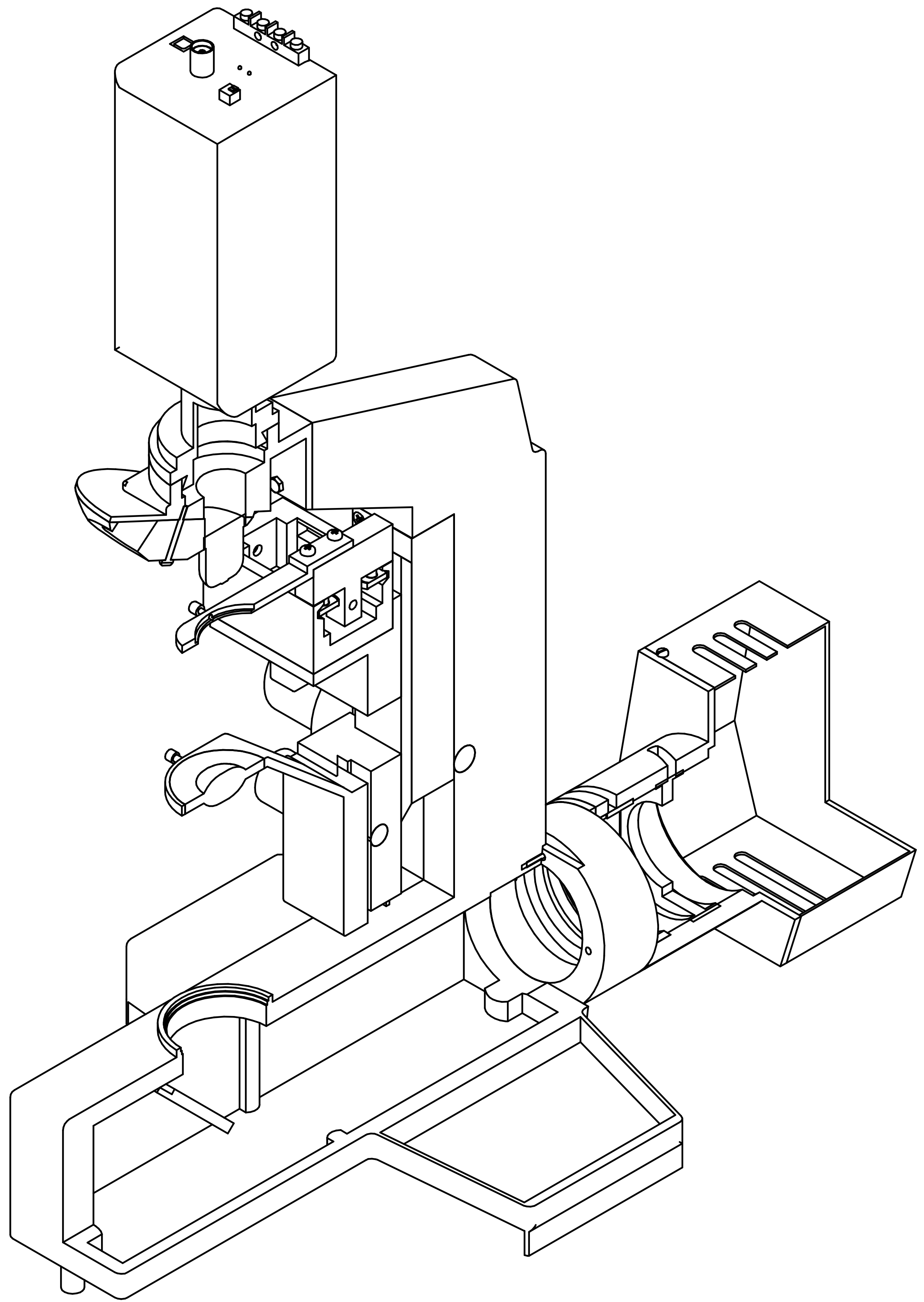
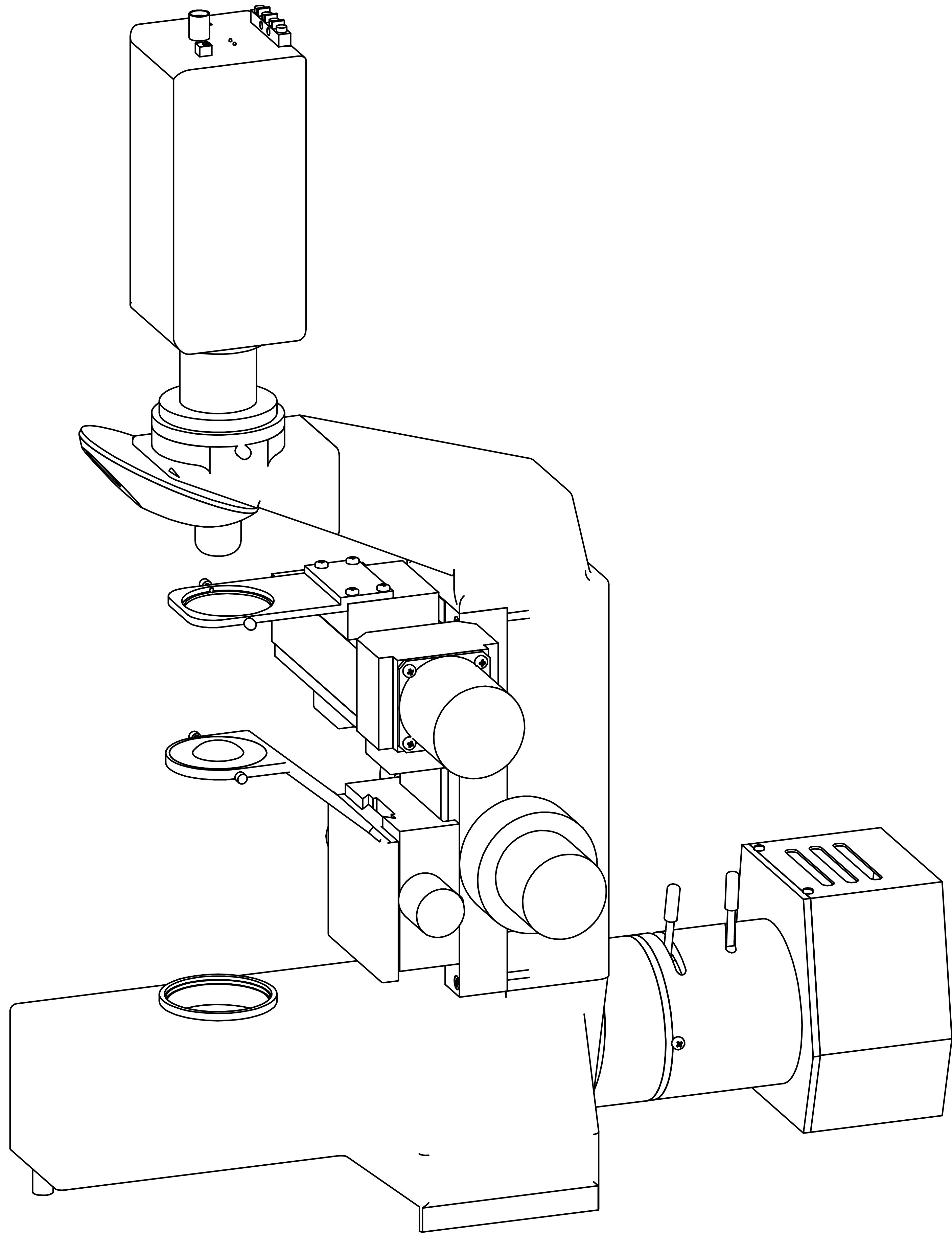
52. А.с. 1775598 СССР, МКИ 4 G 01 В 11 / 08. Способ измерения параметров прозрачных труб и устройство для его осуществления / А.А. Арефьев, А.Ц. Вартаньянц, Ю.А. Фотиев, М.Ю. Шатин. № 4897658 / 28; Заявл. 02.01.91; Опубл. 15.11.92. Бюл. №42. -9 е.: ил.

53. А.с. 868344, СССР, МКИ G01 B11/08. Способ измерения внутреннего диаметра прозрачных труб / Н.И. Сабокар, А.И.Денисенко и др. Опубл.- 1001981, Бюл. №36.

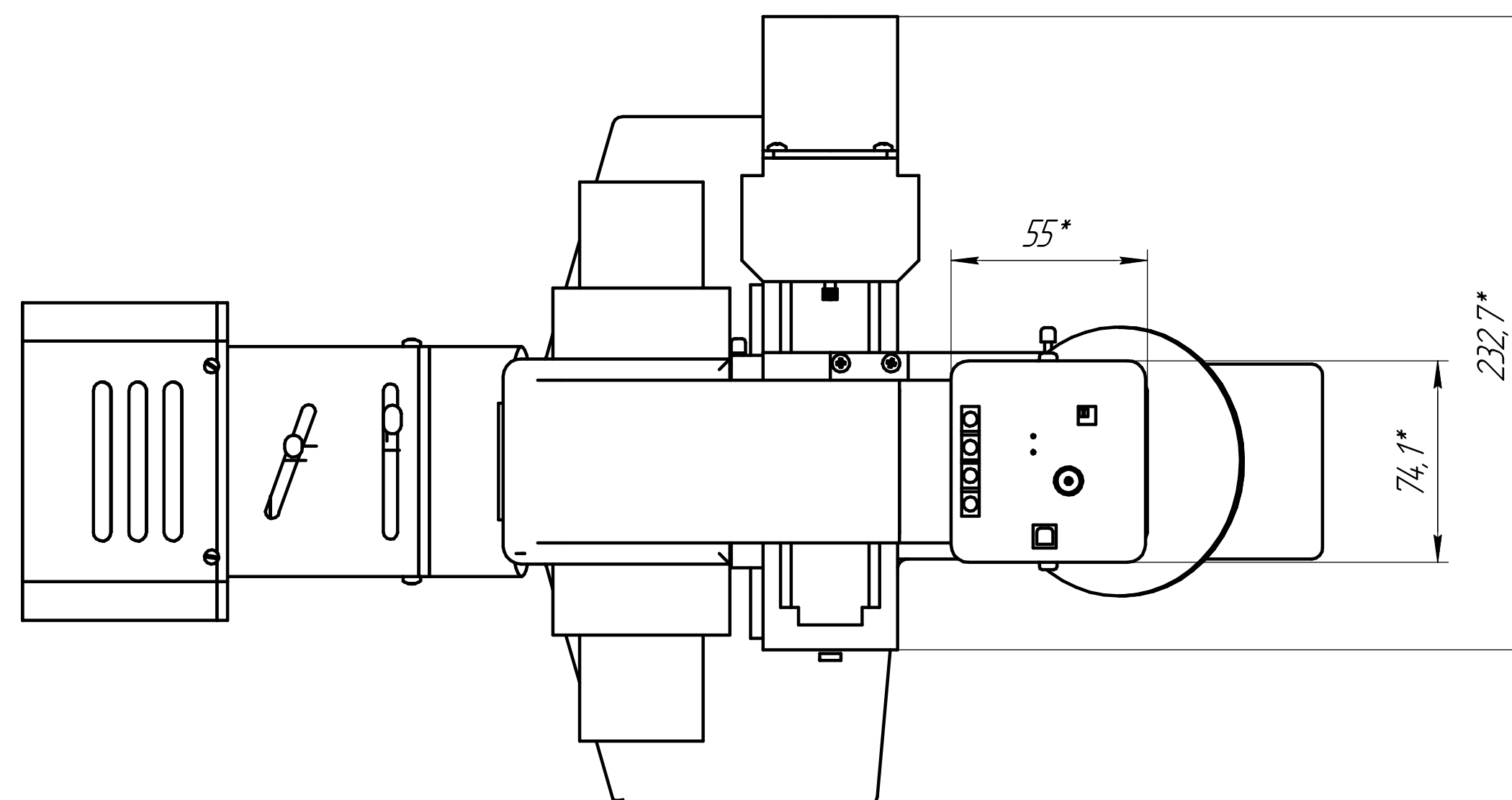
54. А.с. 956977, СССР, МКИ G01 B11/08. Фотоэлектрическое устройство для измерения диаметра изделий / С.С. Журавлев, Л.М.Ковалев и др. Опубл. 1982, Бюл. №33.

55. А.с. 1534301 СССР, МКИ4 G 01 В 11 / 10. Фотоэлектрическое устройство для измерения геометрических параметров прозрачных трубок в процессе их вытягивания / Ю.М. Голубовский, Ю.С. Маслюков Опубл. 07.01.1990, Бюл. № 1. -3 е.: 3 ил.

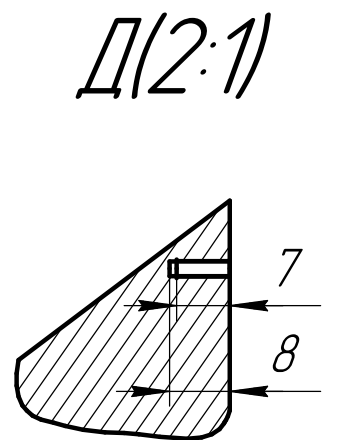
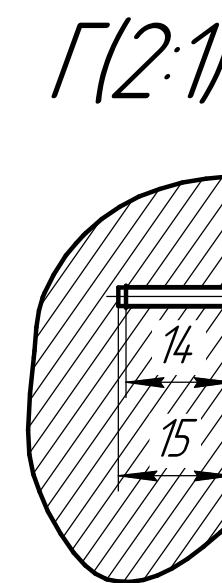
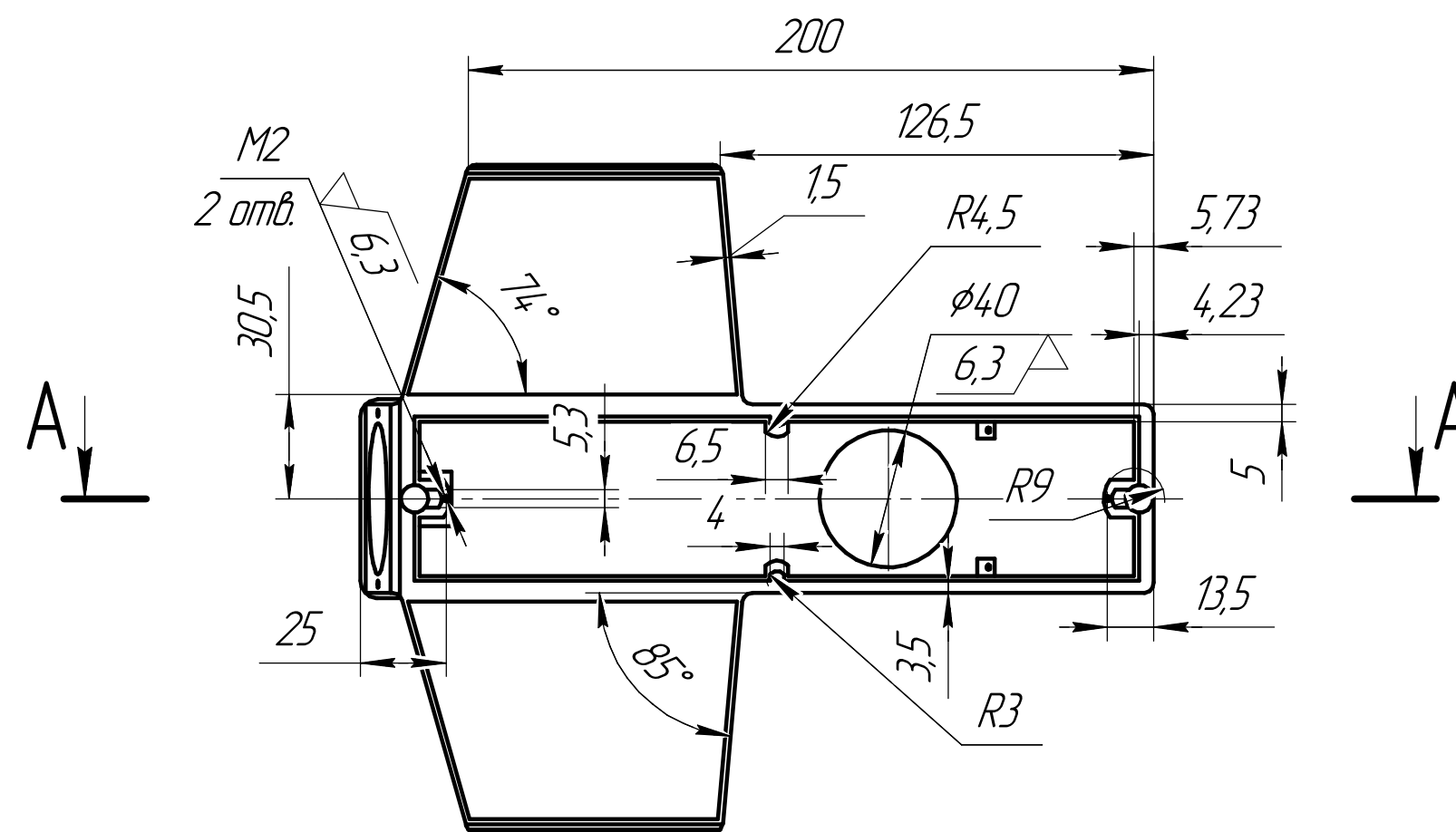
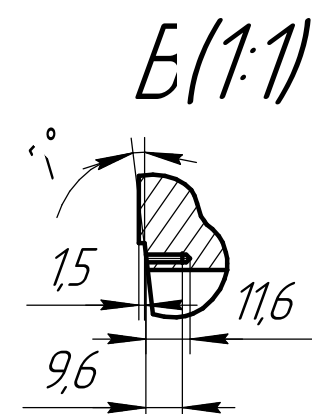
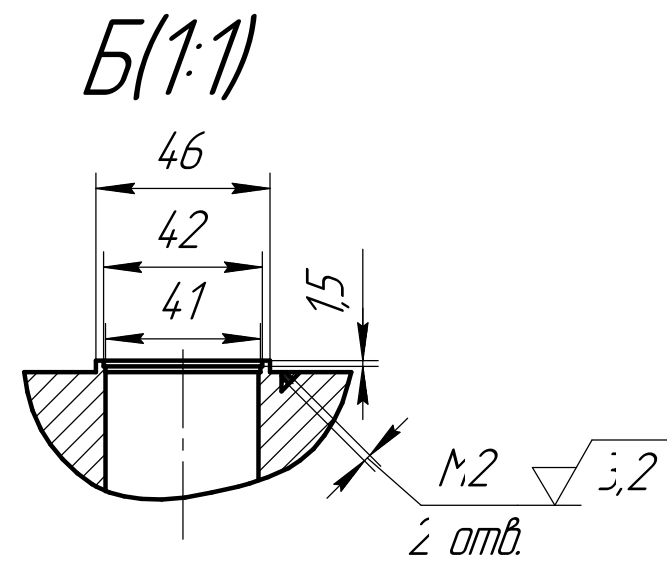
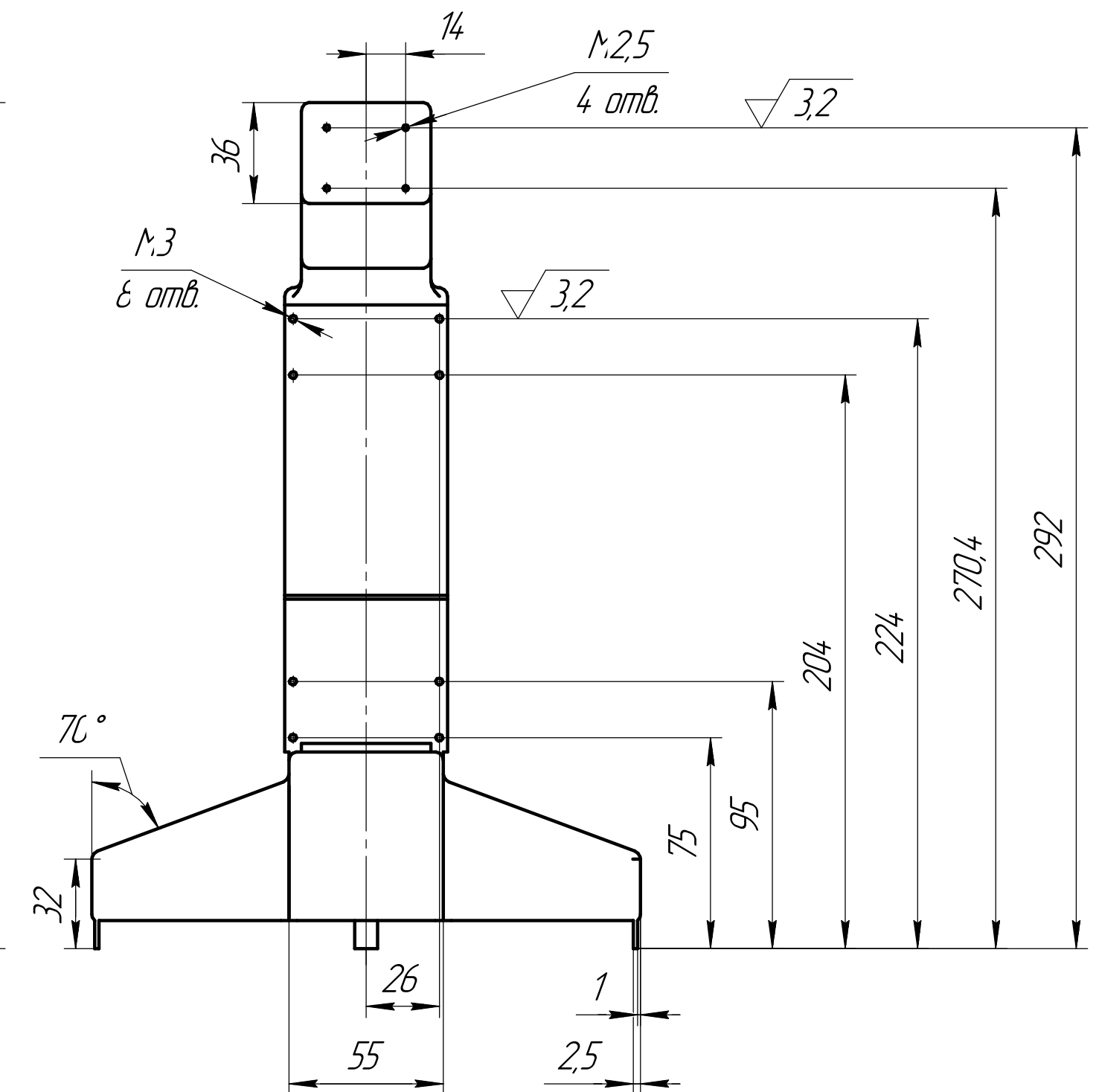
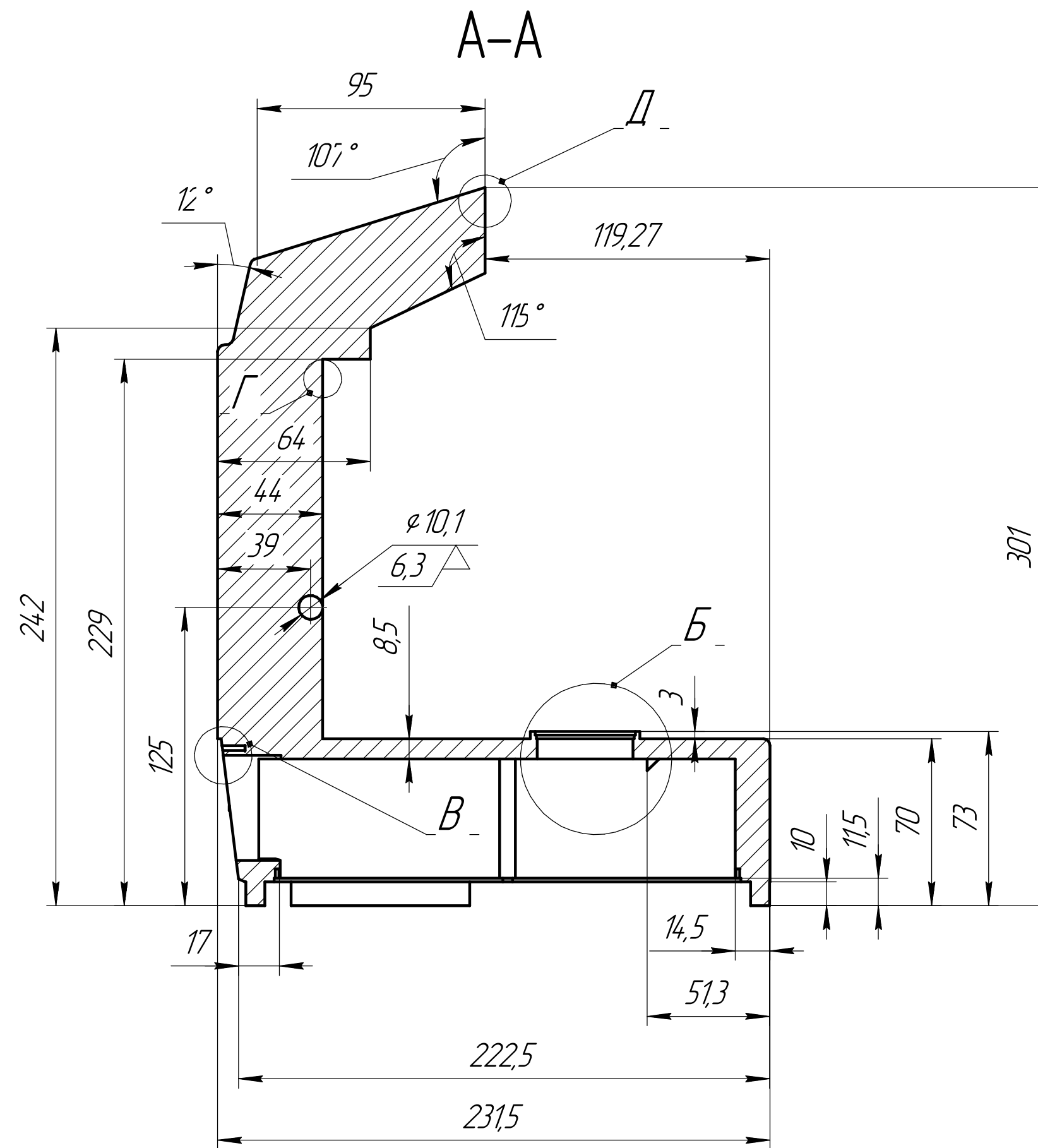
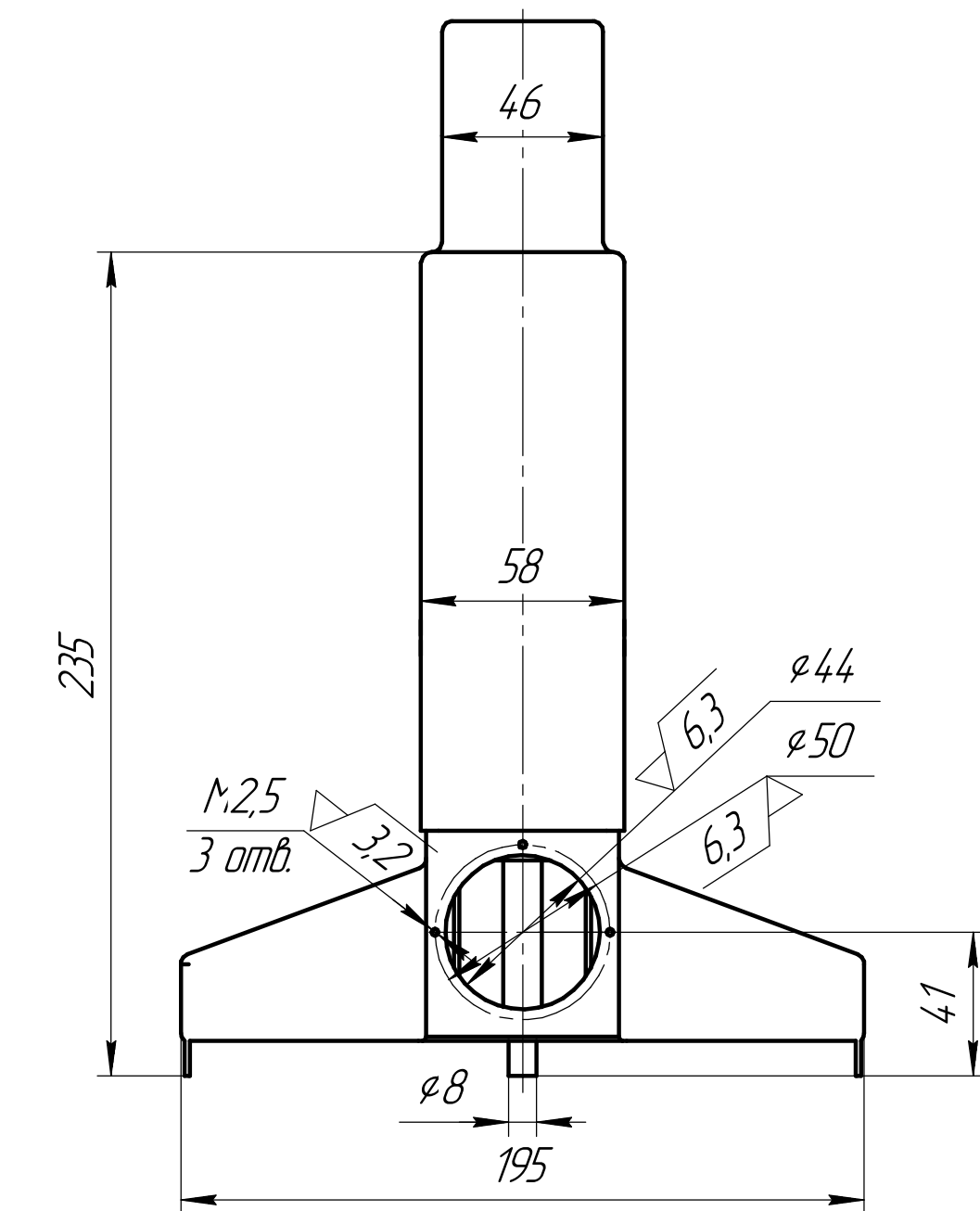
## ДОДАТКИ



					ПН.000.001					
Изм./лист	№ докум.	Подп.	Дата	Оптика-электронная система Загальный видял				Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Гимко В.О.								18,7	1:1
Проб.	Маркин И.О.							Лист	Листов	1
Т.контр.								ПБФ		
Исполн.										
Утв.										



Формат А1



1. Непоказані радіуси 2...3 мм

						ПН.000.002						
						Основа мікроскопа			Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							8,22	1:1
Разрад.		Тимко О.О										
Пров.		Маркін М.О.										
Т.контр.						Лист			Листов 1			
Н.контр.						Сталь 10 ГОСТ 1050-88			ПБФ, ПН-81			
Утв.												

*Формат*     *A4*

Формат А4

700.000.004

Перв. примен.

Справ. №

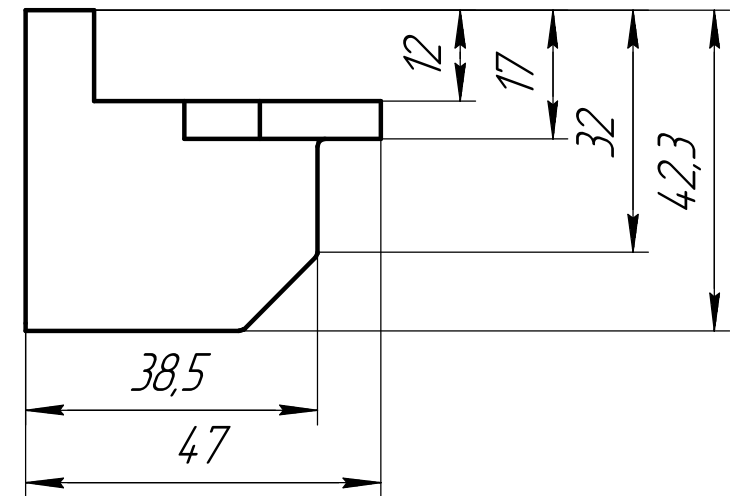
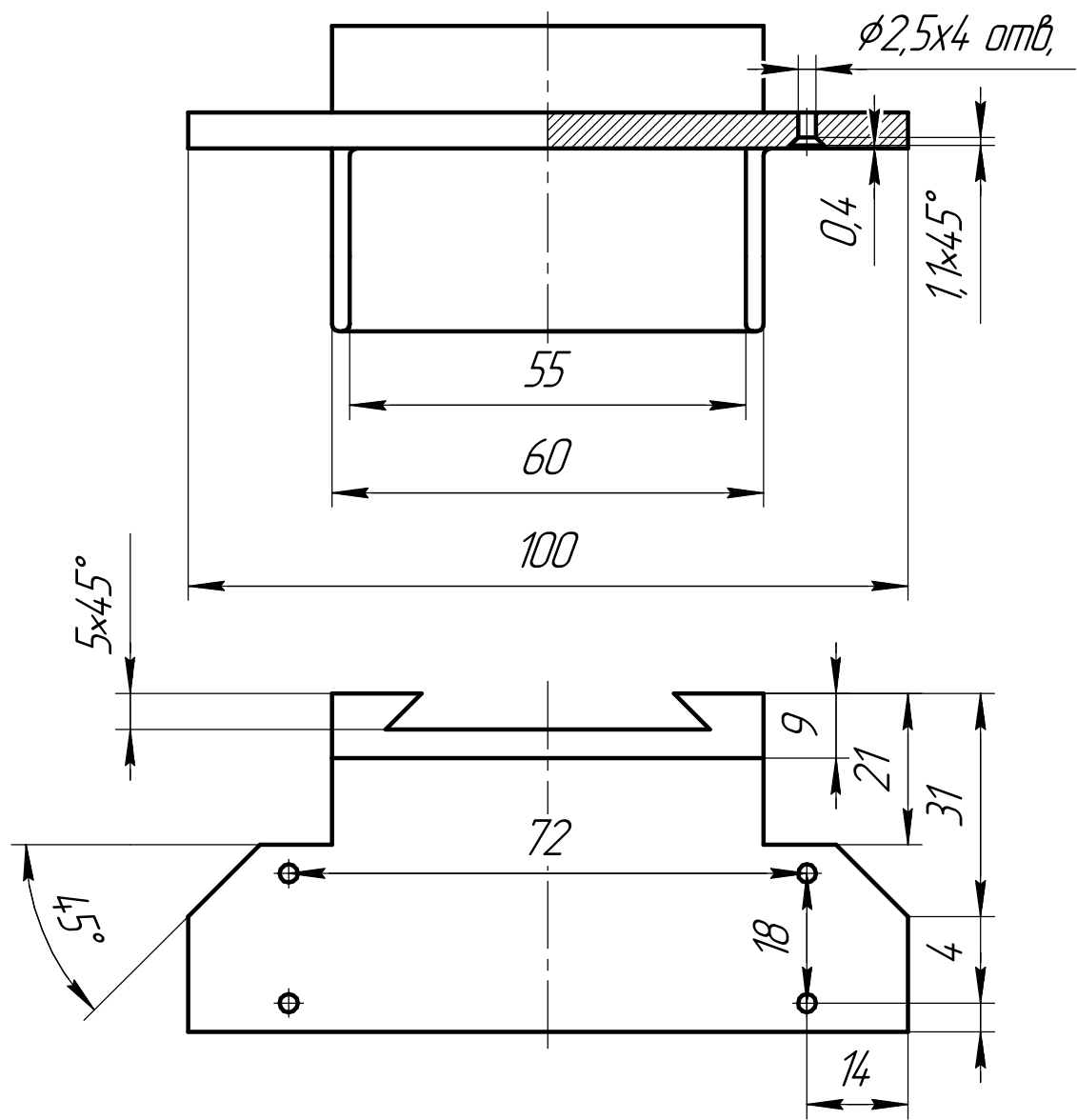
Подп. и дата

Инд. № дюрл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



Невказані радіуси R1

					ПН.000.004				
					Предметний столик оптико-електронної системи	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
Разраб.	Тимко О.О.						0,4	1:1	
Пров.	Маркін М.О.								
Т.контр.						Лист	Листов	1	
					Сталь 10 ГОСТ 1050-88				
Н.контр.									
Утв.									

Копировал

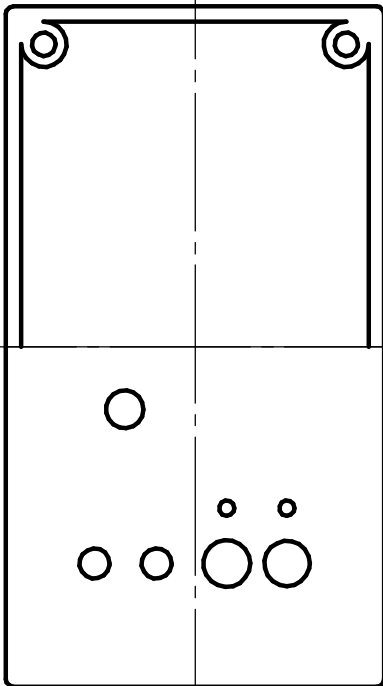
Формат А3



Формат А4

		900'000'HL	
--	--	------------	--

ИНВ. № подл.



Панель керування  
Складальне креслення

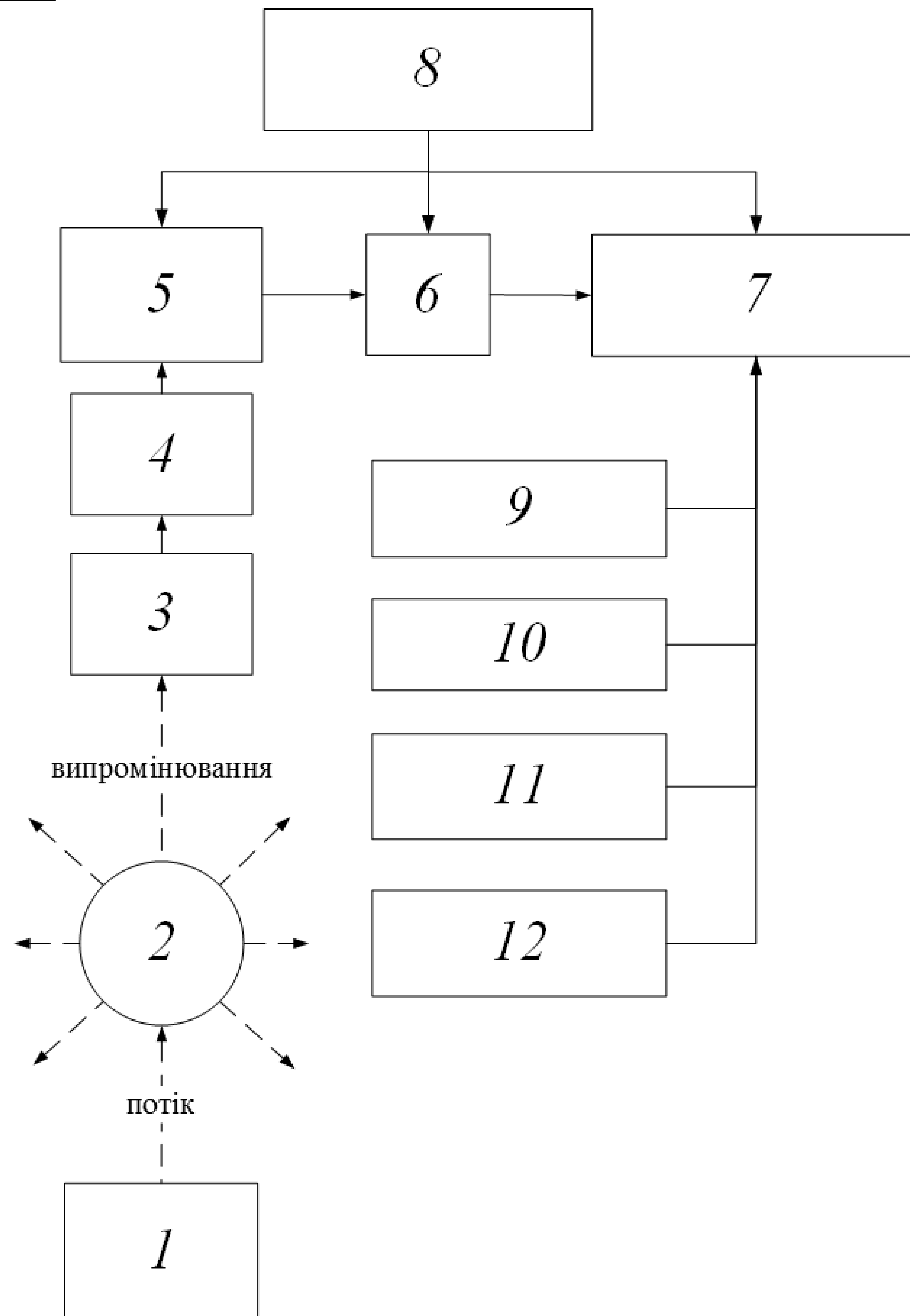
Максимов

1:1

---

Утв.

Формат А4



- 1 – Формувач світлового потоку
- 2 – Об'єкт
- 3 – Фільтри
- 4 – Об'єктив
- 5 – Камера з ПЗЗ матрицею
- 6 – АЦП
- 7 – Блок обробки інформації
- 8 – Блок живлення
- 9 – Пристрої вводу інформації
- 10 – Пристрої виводу інформації
- 11 – Запам'ятовуючий пристрій
- 12 – Програмне забезпечення

					ПН.000.001				
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Оптика-электронная система Схема структурная		Лист	Масштаб	Масштаб
Разраб.		Тумко О.О.						1:1	
Проф.		Маркин М.О.							
Т.контр.							Лист	Листов	1
Исполн.									
Чит.									